



Docket No. 220033US2/

m. 5

#3  
31 May 02  
R. T. Allen

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

IN RE APPLICATION OF: Fuyuhiko INOUE, et al.

GAU: 2877

SERIAL NO: 10/080,537

EXAMINER:

FILED: February 25, 2002

FOR: WAVEFRONT ABERRATION MEASURING METHOD AND UNIT, EXPOSURE APPARATUS, DEVICE  
MANUFACTURING METHOD, AND DEVICE

REQUEST FOR PRIORITY

ASSISTANT COMMISSIONER FOR PATENTS  
WASHINGTON, D.C. 20231

SIR:

- ☐ Full benefit of the filing date of U.S. Application Serial Number [US App No], filed [US App Dt], is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §120.
- ☐ Full benefit of the filing date of U.S. Provisional Application Serial Number, filed, is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119(e).
- ☒ Applicants claim any right to priority from any earlier filed applications to which they may be entitled pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119, as noted below.

In the matter of the above-identified application for patent, notice is hereby given that the applicants claim as priority:

<u>COUNTRY</u>	<u>APPLICATION NUMBER</u>	<u>MONTH/DAY/YEAR</u>
JAPAN	2001-047693	February 23, 2001

Certified copies of the corresponding Convention Application(s)

- ☒ are submitted herewith
- ☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee
- ☐ were filed in prior application Serial No. filed
- ☐ were submitted to the International Bureau in PCT Application Number .  
Receipt of the certified copies by the International Bureau in a timely manner under PCT Rule 17.1(a) has been acknowledged as evidenced by the attached PCT/IB/304.
- ☐ (A) Application Serial No.(s) were filed in prior application Serial No. filed ; and  
(B) Application Serial No.(s)  
☐ are submitted herewith  
☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee

Respectfully Submitted,

OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,  
MAIER & NEUSTADT, P.C.

*Joseph A. Scafetta Jr.*  
Marvin J. Spivak

Registration No. 24,913

Joseph A. Scafetta, Jr.  
Registration No. 26,803



22850

Tel. (703) 413-3000  
Fax. (703) 413-2220  
(OSMMN 10/98)

【書類名】 特許願

【整理番号】 01-00121

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G01M 11/02  
H01L 21/027

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内 3 丁目 2 番 3 号 株式会社ニコン  
    内

    【氏名】 井上 冬彦

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内 3 丁目 2 番 3 号 株式会社ニコン  
    内

    【氏名】 藤井 透

【特許出願人】

    【識別番号】 000004112

    【氏名又は名称】 株式会社ニコン

【代理人】

    【識別番号】 100102901

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 立石 篤司

    【電話番号】 042-739-6625

【手数料の表示】

    【予納台帳番号】 053132

    【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

    【物件名】 明細書 1

    【物件名】 図面 1

    【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 波面収差測定方法、波面収差測定装置、露光装置、デバイス製造方法、及びデバイス

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 被検光学系の波面収差を測定する波面収差測定方法であって

前記被検光学系の波面収差を所定の基底を用いて展開した場合における各次数の収差成分のうち、第 1 の組の次数に関する収差成分を事前に測定する第 1 測定工程と；

前記第 1 測定工程で測定された前記第 1 の組の次数に関する収差成分のうちの所定次数に関する収差成分に基づいて、第 2 の組の次数に関する収差成分の補正情報を算出する補正情報算出工程と；

前記被検光学系における前記第 2 の組の次数に関する収差成分を測定する第 2 測定工程と；

前記第 2 測定工程における測定結果を、前記補正情報に基づいて補正する補正工程と；を含む波面収差測定方法。

【請求項 2】 前記所定の基底を用いた展開は、フリンジツェルニケ多項式を使用した展開であることを特徴とする請求項 1 に記載の波面収差測定方法。

【請求項 3】 前記第 1 の次数の組には、前記展開における最低次数から第 1 の次数までの各次数が含まれ、前記第 2 の次数の組には、前記最低次数から前記第 1 の次数よりも低い第 2 の次数までの各次数が含まれることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の波面収差測定方法。

【請求項 4】 前記所定次数は、前記第 1 の次数の組に含まれ、かつ、前記第 2 の次数の組に含まれない次数であり、

前記補正情報算出工程は、

前記第 1 測定工程で測定された前記第 1 の組の次数のうち、前記所定次数を除いた他の次数に関する収差成分が 0 である第 1 の波面を算出する波面算出工程と；

前記第 2 測定工程で使用される測定系のモデル及び前記第 1 の波面に基づいて

、前記第 2 の組の次数に関する収差成分それぞれに応じた補正量を前記補正情報として算出する補正量算出工程と；を含み、

前記補正工程では、前記第 2 測定工程において測定された前記第 2 の組の次数に関する収差成分それぞれを補正することを特徴とする請求項 3 に記載の波面収差測定方法。

【請求項 5】 前記所定次数は、前記第 1 の組に含まれ、かつ、前記第 2 の組に含まれない次数であり、

前記補正情報算出工程は、前記第 1 測定工程で測定された前記第 1 の組の次数のうち、前記所定次数を除いた他の次数に関する収差成分が 0 である第 1 の波面を前記補正情報として算出する第 1 波面算出工程を含み、

前記補正工程は、

前記第 2 測定工程で使用される測定系によって測定された前記第 2 の組の次数に関する収差成分の値を有する第 2 の波面を算出する第 2 波面算出工程と；

前記第 2 の波面を、前記第 1 の波面に基づいて補正し、第 3 の波面を算出する第 3 波面算出工程と；

前記第 3 の波面及び前記第 2 測定工程で使用される前記測定系のモデルに基づいて、前記第 2 の組の次数に関する修正収差成分それぞれを算出する修正収差成分算出工程と；を含むことを特徴とする請求項 3 に記載の波面収差測定方法。

【請求項 6】 前記第 2 測定工程は、

前記被検光学系を介した光を所定の光学系により波面分割し、複数のパターン像を形成する像形成工程と；

前記形成された複数のパターンそれぞれの位置に基づいて、前記第 2 の組の次数それぞれに関する収差成分を算出する収差成分算出工程と；を含む請求項 1 ～ 5 のいずれか一項に記載の波面収差測定方法。

【請求項 7】 前記第 2 測定工程は、

前記被検光学系の瞳面における複数の異なる領域それぞれを通過する光を生成するパターンが形成された複数の分割パターン領域を、前記被検光学系の物体面に配置し、前記複数の分割パターン領域それぞれに形成されたパターンを前記被検光学系によって結像するパターン結像工程と；

前記被検光学系によって結像された前記パターンの像それぞれの位置に基づいて、前記第 2 の組の次数に関する収差成分を算出する収差成分算出工程と；を含む請求項 1 ～ 5 のいずれか一項に記載の波面収差測定方法。

【請求項 8】 被検光学系の波面収差を測定する波面収差測定装置であって、

前記被検光学系の波面収差を所定の基底を用いて展開した場合における各次数の収差成分のうち、事前に測定された第 1 の組の次数に関する収差成分における所定次数の収差成分に基づいて求められた、第 2 の組の次数に関する収差成分の補正情報を格納する記憶装置と；

前記被検光学系の波面収差について前記第 2 の組の次数に関する収差成分を測定する測定系と；

前記測定系による測定結果を、前記補正情報を用いて補正する補正装置と；を備える波面収差測定装置。

【請求項 9】 前記所定の基底を用いた展開は、フリンジツェルニケ多項式を使用した展開であることを特徴とする請求項 8 に記載の波面収差測定装置。

【請求項 10】 前記測定系は、

前記被検光学系を介した光を波面分割し、複数のパターン像を形成する波面分割素子と；、

前記形成された複数のパターンそれぞれの位置に基づいて、前記第 2 の組の次数に関する収差成分を算出する収差成分算出装置と；を備える請求項 8 又は 9 に記載の波面収差測定装置。

【請求項 11】 前記波面分割素子は、レンズ要素がマトリクス状に配列されたマイクロレンズアレイであることを特徴とする請求項 10 に記載の波面収差測定装置。

【請求項 12】 前記測定系は、

前記被検光学系の物体面側に配置され、前記被検光学系の瞳面における複数の異なる領域それぞれを通過する光を生成するパターンが形成された複数の分割パターン領域を有するパターン形成部材と；

前記被検光学系によって結像された前記パターンの像それぞれの位置に基づい

て、前記第 2 の組の次数それぞれに関する収差成分を算出する収差成分算出装置と；を備える請求項 8 又は 9 に記載の波面収差測定装置。

【請求項 1 3】 露光光を基板に照射することにより、所定のパターンを前記基板に転写する露光装置であって、

前記露光光の光路上に配置された投影光学系を有する露光装置本体と；

前記投影光学系を被検光学系とする請求項 8 ～ 1 2 のいずれか一項に記載の波面収差測定装置と；を備える露光装置。

【請求項 1 4】 リソグラフィ工程を含むデバイス製造方法において、

前記リソグラフィ工程で、請求項 1 3 に記載の露光装置を用いて露光を行うことを特徴とするデバイス製造方法。

【請求項 1 5】 請求項 1 4 のデバイス製造方法を使用して製造されたデバイス。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、波面収差測定方法、波面収差測定装置、露光装置、デバイス製造方法、及びデバイスに係り、より詳しくは、被検光学系の波面収差特性を測定する波面収差測定方法及び波面収差測定装置、並びに該波面収差測定装置を備える露光装置、該露光装置を使用するデバイス製造方法、及び該デバイス製造方法により製造されたデバイスに関する。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

従来から、半導体素子、液晶表示素子等を製造するためのリソグラフィ工程では、マスク又はレチクル（以下、「マスク」と総称する）に形成されたパターン（以下、「レチクルパターン」とも呼ぶ）を、投影光学系を介して、レジスト等が塗布されたウエハ又はガラスプレート等の基板（以下、適宜「基板」と総称する）上に転写する露光装置が用いられている。こうした露光装置としては、いわゆるステッパ等の静止露光型の露光装置や、いわゆるスキャニング・ステッパ等の走査露光型の露光装置が主として用いられている。

## 【 0 0 0 3 】

かかる露光装置においては、レチクルに形成されたパターンを基板に、高い解像力で、忠実に投影する必要がある。このため、投影光学系は、波面収差が十分に低減されるように設計されている。

## 【 0 0 0 4 】

しかし、投影光学系単体の製造時において、波面収差がほぼ設計通りに十分に低減されていても、当該投影光学系を露光装置に組み込んだ後に、様々な要因により波面収差が発生してしまうことがしばしば発生する。かかる波面収差の発生量は、時間の経過に応じて変化することもある。

## 【 0 0 0 5 】

そこで、露光装置に組み込まれた投影光学系のような被検光学系の波面収差を、被検光学系が装置に組み込まれた実際の使用状態で測定するための様々な技術が提案されている。かかる様々な提案技術の中で、投影光学系の瞳面における波面を複数の矩形領域に分割（実質的な分割を含む）し、分割された波面（以下、「分割波面」という）ごとに波面の傾きを測定することにより波面収差を測定して、全体の波面収差を求めるシャック-ハルトマン（Shack-Hartmann）方式の波面収差測定技術が注目されている。

## 【 0 0 0 6 】

このシャック-ハルトマン方式を採用した波面収差測定方法として、例えば、被検光学系を介した入射光の波面を、平行光の理想波面と平行な2次元平面に沿って微小なレンズ（以下、「マイクロレンズ」という）が多数配列されたマイクロレンズアレイ等により波面分割し、各分割波面ごとに形成される多数のスポット像の位置を検出する方法が知られている。この方法では、検出された各スポット像の位置から各マイクロレンズへの入射光の波面の上記理想平面に対する傾きを求め、求められた傾きに基づいてマイクロレンズアレイに入射した光全体の波面を求めることにより、被検光学系の波面収差特性を測定している。

## 【 0 0 0 7 】

また、シャック-ハルトマン方式を採用した波面収差測定方法として、マスク等のパターン領域内における複数の部分領域それぞれを介する波面が、当該部分

領域それぞれと対応する被検光学系の瞳面における部分領域を介するよう、すなわち実質的な波面分割が行われるようにして、パターン領域の各部分領域における部分パターンの被検光学系による結像位置を検出する方法が知られている。この方法では、検出された各部分パターンの位置から、パターン領域の各部分領域及び被検光学系を順次介した後における光の波面の傾きを求め、求められた傾きに基づいて当該パターン領域に入射した光全体の波面を求めることにより、被検光学系の波面収差特性を測定している。

#### 【 0 0 0 8 】

##### 【発明が解決しようとする課題】

上述のようなシャック-ハルトマン方式等を採用した波面収差測定は、各分割波面に対応するパターン像を一挙に観察することができ、迅速に被検光学系の波面収差特性を測定することができるという観点からは、非常に優れたものである。

#### 【 0 0 0 9 】

ところで、シャック-ハルトマン方式等を採用した波面収差測定にあたっては波面分割を行うが、各分割波面の大きさは、被検光学系を介した光の波面を前述のマイクロレンズアレイにより分割する場合には、マイクロレンズアレイにおけるマイクロレンズの大きさによって決まるものである。また、前述の部分パターンが形成されたマスク等を使用して、被検光学系に入射する光の波面を実質的に分割する場合には、パターン領域における部分領域の大きさによって決まるものである。

#### 【 0 0 1 0 】

かかる分割波面の大きさは、波面の形状測定において取り扱うことができる空間周波数の限界を決めるものであり、シャノンのサンプリング定理によれば、分割波面の大きさの2倍以下の周期を有する空間周波数成分については、その形状を測定することができない。そして、上記のような高周波成分が存在すると、それは高周波成分として測定されないばかりか、低周波成分として誤って測定されるという、いわゆるエリアシング (aliasing) を発生させることになる。こうしたエリアシングの発生を抑制するためには、サンプル波面すなわち分割波面の大きさ

きさを小さくすればよいが、上述のマイクロレンズの大きさや、部分領域の大きさを小さくすることには限界がある。

【 0 0 1 1 】

このため、現在におけるシャック-ハルトマン方式等を採用した波面収差測定により、例えばフリンジツェルニケ多項式を使用した展開のときに、空間周波数が比較的低い周波数を有する低次項の係数として求められる収差成分の測定結果には、空間周波数が比較的高いツェルニケ多項式の高次項の影響が入り込んでいる可能性があった。

【 0 0 1 2 】

また、投影光学系等の被検光学系を構成するレンズ等の光学部品は円筒対称の形状を有していることから、被検光学系の波面収差は、極座標で表現することに馴染むものである。一方、シャック-ハルトマン方式の波面収差測定では、波面の分割は2次元直交格子状に行われる。このように波面収差の表現に馴染む座標系と精度の良いパターン形成位置の検出が行われる座標系の形式が異なるため、エリアシングの発生により、本来はある次数の項成分が測定結果の他の項成分に入り込む可能性もあった。

【 0 0 1 3 】

このため、従来のシャック-ハルトマン方式の波面収差測定では、所定の基底を用いた展開としたときにおけるある次数の収差成分の測定結果に、他の次数の収差成分が入り込むという次数間クロストークの発生の可能性があり、波面収差の測定精度の向上には限界があった。

【 0 0 1 4 】

本発明は、かかる事情のもとでなされたものであり、その第1の目的は、被検光学系の波面収差の測定精度を向上することができる波面収差測定方法及び波面収差測定装置を提供することにある。

【 0 0 1 5 】

また、本発明の第2の目的は、所定のパターンを基板に精度良く転写することができる露光装置を提供することにある。

【 0 0 1 6 】

また、本発明の第3の目的は、微細なパターンを有する高集積度のデバイス、及び該デバイスを生産することが可能なデバイス製造方法を提供することを目的とする。

【0017】

【課題を解決するための手段】

本発明の波面収差測定方法は、被検光学系（PL）の波面収差を測定する波面収差測定方法であって、前記被検光学系の波面収差を所定の基底を用いて展開した場合における各次数の収差成分のうち、第1の組の次数に関する収差成分を事前に測定する第1測定工程と；前記第1測定工程で測定された前記第1の組の次数に関する収差成分における所定次数に関する収差成分に基づいて、第2の組の次数に関する収差成分の補正情報を算出する補正情報算出工程と；前記被検光学系における前記第2の組の次数に関する収差成分を測定する第2測定工程と；前記第2測定工程における測定結果を、前記補正情報に基づいて補正する補正工程と；を含む波面収差測定方法である。ここで、「組」を構成する次数の数は、複数に限られず、単数も含むものとする。すなわち、例えば「第1の組の次数」といった場合には、次数の数は、単数の場合もあれば複数の場合もある。本明細書では、かかる意味で「組」の用語を用いるものとする。

【0018】

これによれば、第1測定工程において第1の組の次数に関する収差成分を事前に測定する。かかる第1測定工程は、例えば被検光学系の製造時に行われる。こうした製造時においては、測定にかけることができる時間が十分確保できるとともに、準備できる測定資源にも制約が少ないので、通常、所定の基底を用いて展開した場合における高次項を含めて、非常に精度の良い測定が可能である。こうして事前に測定された第1の組の次数に関する収差成分のうち、所定次数の収差成分を用いて、補正情報算出工程において、後に測定する第2の組の次数に関する収差成分の補正情報を算出する。

【0019】

次に、第2測定工程において、被検光学系の第2の組の次数に関する収差成分を測定する。かかる第2の組の次数に関する収差成分の測定は、例えば、被検光

学系が装置に組み込まれた後に行われる。装置に組み込まれた後においては、製造時からの変化が予想される次数に関する収差成分を測定する。そして、補正工程において、第2測定工程における第2の組の次数に関する収差成分の測定結果を、補正情報算出工程における補正情報に基づいて補正する。この結果、第2の組の次数に関する収差成分を精度良く求めることができる。

【0020】

本発明の波面収差測定方法では、前記所定の基底を用いた展開を、フリンジツェルニケ多項式を使用した展開とすることができる。ここで、「フリンジツェルニケ多項式を使用した展開」とは、極座標  $(r, \theta)$  の形式で表した波面  $W(r, \theta)$  に関する、次の(1)式のような展開をいう。

【0021】

【数1】

$$W(r, \theta) = \sum_i \{ Z_i \cdot f_i(r, \theta) \} \quad \dots (1)$$

【0022】

ここで、(1)式における  $f_i(r, \theta)$  を  $i = 1 \sim 36$  について例示すると、次の表1ようになる。すなわち、径方向距離  $r$  に関する  $n$  次多項式と円周方向角度  $\theta$  について  $m\theta$  の三角関数の式との積で表される  $n$  次  $m\theta$  項への展開である周知のツェルニケ多項式を使用した展開において、各項を  $(n+m)$  が小さい順に並べるとともに、 $(n+m)$  が同一の場合には、 $n$  が小さい順に並べたものが、フリンジツェルニケ多項式を使用した展開である。なお、(1)式における  $i$  の値が、フリンジツェルニケ多項式を使用した展開における次数となる。なお、シャック-ハルトマン方式による波面収差測定では、1次の係数  $Z_1$  は測定されず、2次以上の係数が測定される。

【0023】

【表 1】

$Z_1$	1	$Z_{19}$	$(5\rho^5-4\rho^3) \cos 3\theta$
$Z_2$	$\rho \cos \theta$	$Z_{20}$	$(5\rho^5-4\rho^3) \sin 3\theta$
$Z_3$	$\rho \sin \theta$	$Z_{21}$	$(15\rho^6-20\rho^4+6\rho^2) \cos 2\theta$
$Z_4$	$2\rho^2-1$	$Z_{22}$	$(15\rho^6-20\rho^4+6\rho^2) \sin 2\theta$
$Z_5$	$\rho^2 \cos 2\theta$	$Z_{23}$	$(35\rho^7-60\rho^5+30\rho^3-4\rho) \cos \theta$
$Z_6$	$\rho^2 \sin 2\theta$	$Z_{24}$	$(35\rho^7-60\rho^5+30\rho^3-4\rho) \sin \theta$
$Z_7$	$(3\rho^3-2\rho) \cos \theta$	$Z_{25}$	$70\rho^8-140\rho^6+90\rho^4-20\rho^2+1$
$Z_8$	$(3\rho^3-2\rho) \sin \theta$	$Z_{26}$	$\rho^5 \cos 5\theta$
$Z_9$	$6\rho^4-6\rho^2+1$	$Z_{27}$	$\rho^5 \sin 5\theta$
$Z_{10}$	$\rho^3 \cos 3\theta$	$Z_{28}$	$(6\rho^6-5\rho^4) \cos 4\theta$
$Z_{11}$	$\rho^3 \sin 3\theta$	$Z_{29}$	$(6\rho^6-5\rho^4) \sin 4\theta$
$Z_{12}$	$(4\rho^4-3\rho^2) \cos 2\theta$	$Z_{30}$	$(21\rho^7-30\rho^5+10\rho^3) \cos 3\theta$
$Z_{13}$	$(4\rho^4-3\rho^2) \sin 2\theta$	$Z_{31}$	$(21\rho^7-30\rho^5+10\rho^3) \sin 3\theta$
$Z_{14}$	$(10\rho^5-12\rho^3+3\rho) \cos \theta$	$Z_{32}$	$(56\rho^8-105\rho^6+60\rho^4-10\rho^2) \cos 2\theta$
$Z_{15}$	$(10\rho^5-12\rho^3+3\rho) \sin \theta$	$Z_{33}$	$(56\rho^8-105\rho^6+60\rho^4-10\rho^2) \sin 2\theta$
$Z_{16}$	$20\rho^6-30\rho^4+12\rho^2-1$	$Z_{34}$	$(126\rho^9-280\rho^7+210\rho^5-60\rho^3+5\rho) \cos \theta$
$Z_{17}$	$\rho^4 \cos 4\theta$	$Z_{35}$	$(126\rho^9-280\rho^7+210\rho^5-60\rho^3+5\rho) \sin \theta$
$Z_{18}$	$\rho^4 \sin 4\theta$	$Z_{36}$	$252\rho^{10}-630\rho^8+560\rho^6-210\rho^4+30\rho^2-1$

## 【0 0 2 4】

また、本発明の波面収差測定方法では、前記第 1 の組の次数には、前記展開における最低次数から第 1 の次数までの各次数が含まれ、前記第 2 の組の次数には、前記最低次数から前記第 1 の次数よりも低い第 2 の次数までの各次数が含まれることにすることができる。上記のように、シャック-ハルトマン方式の波面収差測定では、1 次の係数  $Z_1$  は測定されないので、「最低次数」は 2 次となる。

## 【0 0 2 5】

また、本発明の波面収差測定方法では、前記所定次数を、前記第 1 の組に含まれ、かつ、前記第 2 の組に含まれない次数とし、前記補正情報算出工程が、前記第 1 測定工程で測定された前記第 1 の組の次数のうち、前記所定次数を除いた他の次数に関する収差成分が 0 である第 1 の波面を算出する波面算出工程と；前記第 2 測定工程で使用する測定系のモデル及び前記第 1 の波面に基づいて、前記第 2 の組の次数に関する収差成分それぞれに応じた補正量を前記補正情報として算出する補正量算出工程と；を含み、前記補正工程において、前記第 2 測定工程

において測定された前記第 2 の組の次数に関する収差成分それぞれを補正することができる。

【0026】

また、本発明の波面収差測定方法では、前記所定次数を、前記第 1 の組に含まれ、かつ、前記第 2 の組に含まれない次数とし、前記補正情報算出工程が、前記第 1 測定工程で測定された前記第 1 の組の次数のうち、前記所定次数を除いた他の次数に関する収差成分が 0 である第 1 の波面を前記補正情報として算出する第 1 波面算出工程を含み、前記補正工程が、前記第 2 測定工程で使用される測定系によって測定された前記第 2 の組の次数に関する収差成分の値を有する第 2 の波面を算出する第 2 波面算出工程と；前記第 2 の波面を、前記第 1 の波面に基づいて補正し、第 3 の波面を算出する第 3 波面算出工程と；前記第 3 の波面及び前記第 2 測定工程で使用される前記測定系のモデルに基づいて、前記第 2 の組の次数に関する修正収差成分それぞれを算出する修正収差成分算出工程と；を含むことができる。

【0027】

また、本発明の波面収差測定方法では、前記第 2 測定工程が、前記被検光学系を介した光を所定の光学系により波面分割し、複数のパターン像を形成する像形成工程と；前記形成された複数のパターンそれぞれの位置に基づいて、前記第 2 の組の次数それぞれに関する収差成分を算出する収差成分算出工程と；を含むことができる。

【0028】

また、本発明の波面収差測定方法では、前記第 2 測定工程が、前記被検光学系の瞳面における複数の異なる領域それぞれを通過する光を生成するパターンが形成された複数の分割パターン領域を、前記被検光学系の物体面に配置し、前記複数の分割パターン領域それぞれに形成されたパターンを前記被検光学系によって結像するパターン結像工程と；前記被検光学系によって結像された前記パターンの像それぞれの位置に基づいて、前記第 2 の組の次数に関する収差成分を算出する収差成分算出工程と；を含むことができる。

【0029】

本発明の波面収差測定装置は、被検光学系（P L）の波面収差を測定する波面収差測定装置であって、前記被検光学系の波面収差を所定の基底を用いて展開した場合における各次数の収差成分のうち、事前に測定された第 1 の組の次数に関する収差成分における所定次数の収差成分に基づいて求められた、第 2 の組の次数に関する収差成分の補正情報を格納する記憶装置（28）と；前記被検光学系の波面収差について前記第 2 の組の次数に関する収差成分を測定する測定系（70）と；前記測定系による測定結果を、前記補正情報を用いて補正する補正装置（20）と；を備える波面収差測定装置である。

#### 【0030】

これによれば、測定系によって測定された第 2 の組の次数に関する収差成分を、補正装置が、事前に測定された第 1 の組の次数に関する収差成分における所定次数の収差成分に基づいて求められた、第 2 の組の次数に関する収差成分の補正情報を用いて補正する。すなわち、本発明の波面収差測定装置は、上述の本発明の波面収差測定方法を使用して測定することができる。したがって、被検光学系の波面収差を精度良く測定することができる。

#### 【0031】

本発明の波面収差測定装置では、前記所定の基底を用いた展開を、フリンジツェルニケ多項式を使用した展開とすることができる。

#### 【0032】

また、本発明の波面収差測定装置では、前記測定系が、前記被検光学系を介した光を波面分割し、複数のパターン像を形成する波面分割素子（94）と；前記形成された複数のパターンそれぞれの位置に基づいて、前記第 2 の組の次数に関する収差成分を算出する収差成分算出装置（80）と；を備える構成とすることができる。

#### 【0033】

ここで、前記波面分割素子を、レンズ要素（94a）がマトリクス状に配列されたマイクロレンズアレイ（94）とする構成とすることができる。

#### 【0034】

また、本発明の波面収差測定装置では、前記測定系が、前記被検光学系の物体

面側に配置され、前記被検光学系の瞳面における複数の異なる領域それぞれを通過する光を生成するパターンが形成された複数の分割パターン領域を有するパターン形成部材（R T'）と；前記被検光学系によって結像された前記パターンの像それぞれの位置に基づいて、前記第2の組の次数それぞれに関する収差成分を算出する収差成分算出装置（20）と；を備える構成とすることができる。

#### 【0035】

本発明の露光装置は、露光光を基板（W）に照射することにより、所定のパターンを前記基板に転写する露光装置であって、前記露光光の光路上に配置された投影光学系を有する露光装置本体（60）と；前記投影光学系を被検光学系とする本発明の波面収差測定装置と；を備える露光装置である。

#### 【0036】

これによれば、本発明の光学特性測定装置により精度良く光学特性が測定され、光学特性が良好に調整されていることが保証された投影光学系を使用して、所定のパターンを基板に転写することができる。したがって、所定のパターンを基板に精度良く転写することができる。

#### 【0037】

本発明のデバイス製造方法は、リソグラフィ工程を含むデバイス製造方法において、前記リソグラフィ工程で、本発明の露光装置（100）を用いて露光を行うことを特徴とするデバイス製造方法である。

#### 【0038】

これによれば、本発明の露光装置を使用して露光を行うことにより、所定のパターンを精度良く区画領域に転写することができるので、微細な回路パターンを有する高集積度のデバイスの生産性を向上することができる。

#### 【0039】

本発明のデバイスは、本発明のデバイス製造方法を使用して製造されたデバイスである。

#### 【0040】

#### 【発明の実施の形態】

以下、本発明の一実施形態を、図1～図10を参照して説明する。

## 【 0 0 4 1 】

図 1 には、本発明の一実施形態に係る露光装置 1 0 0 の概略構成が示されている。この露光装置 1 0 0 は、ステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置である。この露光装置 1 0 0 は、露光装置本体 6 0 と、波面測定装置 7 0 とを備えている。

## 【 0 0 4 2 】

前記露光装置本体 6 0 は、照明系 1 0、レチクル R を保持するレチクルステージ R S T、被検光学系としての投影光学系 P L、基板（物体）としてのウエハ W が搭載されるステージ装置としてのウエハステージ W S T、アライメント顕微鏡 A S、レチクルステージ R S T 及びウエハステージ W S T の位置及び姿勢を制御するステージ制御系 1 9、並びに装置全体を統括制御する制御系等を備えている。

## 【 0 0 4 3 】

前記照明系 1 0 は、光源、フライアイレンズ等からなる照度均一化光学系、リレーレンズ、可変 N D フィルタ、レチクルブラインド、及びダイクロイックミラー等（いずれも不図示）を含んで構成されている。こうした照明系の構成は、例えば、特開平 1 0 - 1 1 2 4 3 3 号公報に開示されている。この照明系 1 0 では、回路パターン等が描かれたレチクル R 上のレチクルブラインドで規定されたスリット状の照明領域部分を照明光 I L によりほぼ均一な照度で照明する。

## 【 0 0 4 4 】

前記レチクルステージ R S T 上にはレチクル R が、例えば真空吸着により固定されている。レチクルステージ R S T は、ここでは、磁気浮上型の 2 次元リニアアクチュエータから成る不図示のレチクルステージ駆動部によって、レチクル R の位置決めのため、照明系 1 0 の光軸（後述する投影光学系 P L の光軸 A X に一致）に垂直な X Y 平面内で微少駆動可能であるとともに、所定の走査方向（ここでは Y 方向とする）に指定された走査速度で駆動可能となっている。さらに、本実施形態では上記磁気浮上型の 2 次元リニアアクチュエータは X 駆動用コイル、Y 駆動用コイルの他に Z 駆動用コイルを含んでいるため、Z 方向にも微小駆動可能となっている。

## 【 0 0 4 5 】

レチクルステージ R S T のステージ移動面内の位置はレチクルレーザ干渉計（以下、「レチクル干渉計」という）16によって、移動鏡15を介して、例えば0.5～1nm程度の分解能で常時検出される。レチクル干渉計16からのレチクルステージ R S T の位置情報（又は速度情報）はステージ制御系19を介して主制御系20に送られ、主制御系20は、この位置情報（又は速度情報）に基づき、ステージ制御系19及びレチクルステージ駆動部（図示省略）を介してレチクルステージ R S T を駆動する。

## 【 0 0 4 6 】

前記投影光学系 P L は、レチクルステージ R S T の図1における下方に配置され、その光軸 A X の方向が Z 軸方向とされている。投影光学系 P L としては、例えば両側テレセントリックな縮小系であり、共通の Z 軸方向の光軸 A X を有する不図示の複数のレンズエレメントから構成されている。また、この投影光学系 P L としては、投影倍率  $\beta$  が例えば  $1/4$ 、 $1/5$ 、 $1/6$  などのものが使用されている。このため、上述のようにして、照明光（露光光）I L によりレチクル R 上の照明領域が照明されると、そのレチクル R に形成されたパターンが投影光学系 P L によって投影倍率  $\beta$  で縮小された像（部分倒立像）が表面にレジスト（感光剤）が塗布されたウエハ W 上のスリット状の露光領域に投影され転写される。

## 【 0 0 4 7 】

なお、本実施形態では、上記の複数のレンズエレメントのうち、特定のレンズエレメント（例えば、所定の5つのレンズエレメント）がそれぞれ独立に移動可能となっている。かかるレンズエレメントの移動は、特定レンズエレメントを支持するレンズ支持部材を支持し、鏡筒部と連結する、特定レンズごとに設けられた3個のピエゾ素子等の駆動素子によって行われるようになっている。すなわち、特定レンズエレメントを、それぞれ独立に、各駆動素子の変位量に応じて光軸 A X に沿って平行移動させることもできるし、光軸 A X と垂直な平面に対して所望の傾斜を与えることもできるようになっている。そして、これらの駆動素子に与えられる駆動指示信号が、主制御系20からの指令 M C D に基づいて結像特性補正コントローラ51によって制御され、これによって各駆動素子の変位量が制

御されるようになっている。

#### 【0048】

こうして構成された投影光学系PLでは、主制御系20による結像特性補正コントローラ51を介したレンズエレメントの移動制御により、ディストーション、像面湾曲、非点収差、コマ収差、又は球面収差等の光学特性が調整可能となっている。

#### 【0049】

前記ウエハステージWSTは、投影光学系PLの図1における下方で、不図示のベース上に配置され、このウエハステージWST上には、ウエハホルダ25が載置されている。このウエハホルダ25上にウエハWが例えば真空吸着等によって固定されている。ウエハホルダ25は不図示の駆動部により、投影光学系PLの光軸直交面に対し、任意方向に傾斜可能で、かつ投影光学系PLの光軸AX方向（Z方向）にも微動可能に構成されている。また、このウエハホルダ25は光軸AX回りの微小回転動作も可能になっている。

#### 【0050】

また、ウエハステージWSTの+Y方向側には、後述する波面センサ90を着脱可能とするためのブラケット構造が形成されている。

#### 【0051】

ウエハステージWSTは走査方向（Y方向）の移動のみならず、ウエハW上の複数のショット領域を前記照明領域と共役な露光領域に位置させることができるように、走査方向に垂直な方向（X方向）にも移動可能に構成されており、ウエハW上の各ショット領域を走査（スキャン）露光する動作と、次のショットの露光開始位置まで移動する動作とを繰り返すステップ・アンド・スキャン動作を行う。このウエハステージWSTはモータ等を含むウエハステージ駆動部24によりXY2次元方向に駆動される。

#### 【0052】

ウエハステージWSTのXY平面内での位置はウエハレーザ干渉計（以下、「ウエハ干渉計」という）18によって、移動鏡17を介して、例えば0.5～1nm程度の分解能で常時検出されている。ウエハステージWSTの位置情報（又

は速度情報)はステージ制御系19を介して主制御系20に送られ、主制御系20は、この位置情報(又は速度情報)に基づき、ステージ制御系19及びウエハステージ駆動部24を介してウエハステージWSTの駆動制御を行う。

【0053】

前記アライメント顕微鏡ASは、投影光学系PLの側面に配置され、本実施形態では、ウエハW上に形成されたストリートラインや位置検出用マーク(ファインアライメントマーク)を観測する結像アライメントセンサから成るオフ・アクシス方式の顕微鏡が用いられている。このアライメント顕微鏡ASの詳細な構成は、例えば特開平9-219354号公報に開示されている。アライメント顕微鏡ASによる観測結果は、主制御系20に供給される。

【0054】

更に、図1の装置には、ウエハW表面の露光領域内部及びその近傍の領域のZ方向(光軸AX方向)の位置を検出するための斜入射方式のフォーカス検出系(焦点検出系)の一つである、多点フォーカス位置検出系(21, 22)が設けられている。この多点フォーカス位置検出系(21, 22)は、照射光学系21と、受光光学系22とから構成されている。この多点フォーカス位置検出系(21, 22)の詳細な構成等については、例えば特開平6-283403号公報に開示されている。多点フォーカス位置検出系(21, 22)による検出結果は、ステージ制御系19に供給される。

【0055】

前記制御系は、図1中、前記主制御系20によって主に構成される。主制御系20は、CPU(中央演算処理装置)、ROM(リード・オンリ・メモリ)、RAM(ランダム・アクセス・メモリ)等からなるいわゆるワークステーション(又はマイクロコンピュータ)等から構成され、前述した種々の制御動作を行う他、露光装置100全体を統括して制御する。主制御系20は、例えば露光動作が的確に行われるように、例えば、ウエハステージWSTのショット間ステッピング、露光タイミング等を統括して制御する。

【0056】

また、主制御系20には、例えばハードディスクから成る記憶装置28が接続

されている。この記憶装置 28 内には、後述する波面測定装置 70 による波面収差測定結果の補正に用いる補正情報 AMI を格納する補正情報格納領域 AMIA 及び補正情報 AMI を用いて補正された波面収差データ AWF が格納される修正波面収差データ格納領域 AWF A を有している。なお、補正情報 AMI 及び波面収差データ AWF については後述する。

【0057】

前記波面測定装置 70 は、波面センサ 90 と、波面データ処理装置 80 とから構成されている。

【0058】

前記波面センサ 90 は、図 2 に示されるように、標示板 91、コリメータレンズ 92、レンズ 93a 及びレンズ 93b から成るリレーレンズ系 93、波面分割素子としてのマイクロレンズアレイ 94、並びに撮像装置としての CCD 95 を備えており、この順序で光軸 AX1 上に配置されている。また、波面センサ 90 は、波面センサ 90 に入射した光の光路を設定するミラー 96a, 96b, 96c、並びにコリメータレンズ 92、リレーレンズ系 93、マイクロレンズアレイ 94、CCD 95、及びミラー 96a, 96b, 96c を収納する収納部材 97 を更に備えている。

【0059】

前記標示板 91 は、例えばガラス基板を基材とし、ウエハホルダ 25 に固定されたウエハ W の表面と同じ高さ位置（Z 方向位置）に、光軸 AX1 と直交するように配置されている（図 1 参照）。この標示板 91 の表面には、図 3 に示されるように、その中央部に開口 91a が形成されている。また、標示板 91 の表面における開口 91a の周辺には、3 組以上（図 3 では、4 組）の 2 次元位置検出用マーク 91b が形成されている。この 2 次元位置検出用マーク 91b としては、本実施形態では、X 方向に沿って形成されたラインアンドスペースマーク 91c と、Y 方向に沿って形成されたラインアンドスペースマーク 91d との組合せが採用されている。なお、ラインアンドスペースマーク 91c, 91d は、上述のアライメント顕微鏡 AS によって観察可能となっている。また、開口 91a 及び 2 次元位置検出用マーク 91b を除く標示板 91 の表面は反射面加工がなされて

いる。かかる反射面加工は、例えば、ガラス基板にクロム（Cr）を蒸着することによって行われている。

【0060】

図2に戻り、前記コリメータレンズ92は、上述の開口91aを通して入射したほぼ球面波をほぼ平面波に変換する。

【0061】

前記マイクロレンズアレイ94は、図4に示されるように、正の屈折力を有する正形状の多数のマイクロレンズ94aがマトリクス状に稠密に配列されたものである。ここで、各マイクロレンズ94aの光軸は互いにほぼ平行となっている。なお、図4においては、マイクロレンズ94aが7×7のマトリクス状に配列されたものが、一例として示されている。こうしたマイクロレンズアレイ94は、平行平面ガラス板にエッチング処理を施すことにより作成される。マイクロレンズアレイ94は、リレーレンズ系93を介した光を入射したマイクロレンズ94aごとに、開口91aの像をそれぞれ異なる位置に結像する。

【0062】

なお、コリメータレンズ92、リレーレンズ系93、マイクロレンズアレイ94、及びミラー96a、96b、96cから成る光学系を、以下では「波面収差測定光学系」というものとする。

【0063】

前記CCD95は、マイクロレンズアレイ94の各マイクロレンズ94aによって開口91aの像が結像される結像面、すなわち、波面収差測定光学系における開口91aの形成面の共役面に受光面を有し、その受光面に結像された多数の開口91aの像を撮像する。この撮像結果は、撮像データIMDとして波面データ処理装置80に供給される。

【0064】

前記収納部材97は、その内部に、コリメータレンズ92、リレーレンズ系93、マイクロレンズアレイ94、及びCCD95をそれぞれ支持する不図示の支持部材を有している。なお、ミラー96a、96b、96cは、収納部材97の内面に取り付けられている。また、前記収納部材97の外形は、上述したウエハ

ステージ W S T のブラケット構造と嵌合する形状となっており、ウエハステージ W S T に対して着脱自在となっている。

#### 【 0 0 6 5 】

前記波面データ処理装置 8 0 は、図 5 に示されるように、主制御装置 3 0 と記憶装置 4 0 とを備えている。主制御装置 3 0 は、(a) 波面データ処理装置 8 0 の動作全体を制御するとともに、波面測定結果データ W F A を主制御系 2 0 へ供給する制御装置 3 9 と、(b) 波面センサ 9 0 からの撮像データ I M D を収集する撮像データ収集装置 3 1 と、(c) 像データに基づいてパターン像としてのスポット像の位置を検出するスポット像位置検出装置 3 2 と、(d) 位置検出装置 3 2 により検出されたスポット像位置に基づいて、投影光学系 P L の波面収差を算出する波面収差算出装置 3 3 とを含んでいる。

#### 【 0 0 6 6 】

また、記憶装置 4 0 は、(a) 撮像データを格納する撮像データ格納領域 4 1 と、(b) スポット像位置データを格納するスポット像位置格納領域 4 2 と、(c) 波面収差データを格納する波面収差データ格納領域 4 3 とを有している。

#### 【 0 0 6 7 】

本実施形態では、主制御装置 3 0 を上記のように、各種の装置を組み合わせで構成したが、主制御装置 3 0 を計算機システムとして構成し、主制御装置 3 0 を構成する上記の各装置の機能を主制御装置 3 0 に内蔵されたプログラムによって実現することも可能である。

#### 【 0 0 6 8 】

次に、投影光学系 P L の波面収差の測定及び露光動作について説明する。なお、以下の説明においては、波面測定装置 7 0 による波面測定は、フリンジツェルニケ多項式を用いた展開において、 $2 \sim M$  (例えば、 $M = 36$ ) 次に関する収差成分 (上述の (1) 式における係数  $Z_2 \sim Z_M$ ) を測定するものとする。そして、以下の説明において単に「次数」と記載したときには、フリンジツェルニケ多項式を用いた展開における次数を示しているものとする。また、上述した波面測定装置 7 0 の波面センサ 9 0 に関する精度のよい数学モデルは、既知であるものとする。

## 【 0 0 6 9 】

さらに、 $(M+1)$ 以上の次数に関する収差成分は、投影光学系 P L 単体の製造時と、投影光学系 P L の露光装置 1 0 0 への組み込み以後とで、殆ど変化がないものとする。かかる仮定は、経験的にほぼ正しいことが知られている。また、 $(M+1)$ 次以上の収差成分が存在しない波面収差の測定結果は、高精度測定をした場合と、波面測定装置 7 0 によって測定した場合とで、有意な差はないものとする。

## 【 0 0 7 0 】

まず、前述した図 1 における記憶装置 2 8 内の補正情報格納領域 A M I A に格納される補正情報 A M I について説明する。この補正情報 A M I は、以下のようにして、波面測定装置 7 0 による波面収差を行う前に求められる。

## 【 0 0 7 1 】

まず、図 6 のステップ 1 2 1 において、後述する測定用レチクル R T のピンホールパターン  $P H_j$  ( $j = 1 \sim J$ ) (図 9 参照) ごとの像高に応じて、投影光学系 P L の波面収差について、フリンジツェルニケ多項式を用いた展開における  $2 \sim N$  ( $> M$ ) 次の収差成分  $Z 0_{j,2} \sim Z 0_{j,N}$  (上述の (1) 式における  $Z_2 \sim Z_N$  に対応) を測定する。この測定は、投影光学系 P L が、露光装置 1 0 0 に組み込まれる前の投影光学系 P L 単体の製造時に行われる。このため、当該測定にあたっては、時間的資源及び測定器資源を十分に投入することが可能であり、非常に精度良く投影光学系 P L のそのときの波面収差が測定される。なお、当該測定には、フィゾー干渉計等が用いられる。

## 【 0 0 7 2 】

実際の投影光学系の製造においては、上記の波面収差の  $2 \sim N$  次に関する収差成分の測定と、その測定結果に基づく波面収差の調整が繰り返し行われ、投影光学系 P L として求められる波面収差特性に最終調整されるが、ステップ 1 2 1 で測定され、以後のステップで使用される収差成分  $Z 0_{j,2} \sim Z 0_{j,N}$  は、最終調整後のものである。なお、現実には、 $(N+1)$  次よりも高い次数に関する収差成分も存在するが、それらの大きさは十分に小さいものとして無視することができるものとする。例えば、投影光学系 P L に通常用いられているレンズ形状の場合

には、投影光学系 P L 単体の製造時に行われる波面収差測定で測定される次数よりも高い次数の収差成分は十分に小さいので、かかる仮定が正しい仮定となっている。

## 【 0 0 7 3 】

次に、ステップ 1 2 2 において、ステップ 1 2 1 で測定された収差成分  $Z 0_{j,1} \sim Z 0_{j,N}$  のうち、収差成分  $Z 0_{j,2} \sim Z 0_{j,M}$  を 0 とし、収差成分  $Z 0_{j,M+1} \sim Z 0_{j,N}$  のみを波面成分として有する高次収差波面  $W A_j$  を算出する。こうして算出された波面  $W A_j$  は、次の (2) 式で表される。

## 【 0 0 7 4 】

【数 2】

$$W A_j(r, \theta) = \sum_{i=M+1}^N \{ Z 0_{j,i} \cdot f_i(r, \theta) \} \cdots (2)$$

## 【 0 0 7 5 】

次いで、ステップ 1 2 3 において、高次収差波面  $W A_j$  の波面収差測定を波面測定装置 7 0 で行ったとしたときに測定される 1 ～ M 次の収差成分  $Z A_{j,1} \sim Z A_{j,M}$  を、高次収差波面  $W A_j$  及び波面センサ 9 0 の数学モデルに基づいて、シミュレーション計算により算出する。算出された収差成分  $Z A_{j,2} \sim Z A_{j,M}$  は、本来は (M + 1) ～ N 次の収差成分が、前述したエリアシング等により、波面測定装置 7 0 による測定結果である 2 ～ M 次の成分に入り込んでしまう量を示している。こうして算出された収差成分  $Z A_{j,2} \sim Z A_{j,M}$  が、補正情報 A M I として、通信回線又は記録媒体を介して記憶装置 2 8 内の補正情報格納領域 A M I A に格納される。

## 【 0 0 7 6 】

次に、本実施形態の露光装置 1 0 0 による波面収差測定動作及び露光動作を、図 7 に示されるフローチャートに沿って、適宜他の図面を参照しながら説明する。なお、以下に説明する波面収差測定は、通常、露光装置 1 0 0 の設置時の検査や、定期メンテナンス時に行われる。

## 【 0 0 7 7 】

なお、以下の動作の前提として、波面センサ 9 0 はウエハステージ W S T に装着されており、また、波面データ処理装置 8 0 と主制御系 2 0 とが接続されているものとする。

## 【 0 0 7 8 】

また、ウエハステージに装着された波面センサ 9 0 の標示板 9 1 の開口 9 1 a とウエハステージ W S T との位置関係は、2 次元位置マーク 9 1 b をアライメント顕微鏡 A S で観察することにより、正確に求められているものとする。すなわち、ウエハ干渉計 1 8 から出力される位置情報（速度情報）に基づいて、開口 9 1 a の X Y 位置が正確に検出でき、かつ、ウエハステージ駆動部 2 4 を介してウエハステージ W S T を移動制御することにより、開口 9 1 a を所望の X Y 位置に精度良く位置決めできるものとする。なお、本実施形態では、開口 9 1 a とウエハステージ W S T との位置関係は、アライメント顕微鏡 A S による 4 つの 2 次元位置マーク 9 1 b の位置の検出結果に基づいて、特開昭 6 1 - 4 4 4 2 9 号公報等の開示されているいわゆるエンハンストグローバルアライメント（以下、「E G A」という）等と同等の統計的な手法を用いて正確に検出される。

## 【 0 0 7 9 】

図 7 に示される処理では、まず、サブルーチン 1 0 1 において、投影光学系 P L の波面収差が測定される。この波面収差の測定では、図 8 に示されるように、まず、ステップ 1 1 1 において、不図示のレチクルロードにより、図 9 に示される波面収差測定用の測定用レチクル R T がレチクルステージ R S T にロードされる。測定用レチクル R T には、図 9 に示されるように、複数個（図 9 では、9 個）のピンホールパターン  $P H_j$  ( $j = 1 \sim J$  : 図 9 では、 $J = 9$ ) が X 方向及び Y 方向に沿ってマトリクス状に形成されている。なお、ピンホールパターン  $P H_1 \sim P H_J$  は、図 9 において点線で示されるスリット状の照明領域の大きさの領域内に形成されている。

## 【 0 0 8 0 】

引き続き、ウエハステージ W S T 上に配置された不図示の基準マーク板を使用したレチクルアライメントや、更にアライメント顕微鏡 A S を使用したベースライン量の測定等が行われる。そして、収差測定が行われる最初のピンホールパタ

ーン  $PH_1$  が投影光学系  $PL$  の光軸  $AX$  上に位置するように、レチクルステージ  $RST$  を移動させる。かかる移動は、主制御系 20 が、レチクル干渉計 16 が検出したレチクルステージ  $RST$  の位置情報（速度情報）に基づいて、ステージ制御系 19 を介してレチクル駆動部を制御することにより行われる。

#### 【0081】

図 8 に戻り、次に、ステップ 112 において、波面センサ 90 の標示板 91 の開口 91 a が、ピンホールパターン  $PH_1$  の投影光学系  $PL$  に関する共役位置（ピンホールパターン  $PH_1$  の場合には、光軸  $AX$  上）にウエハステージ  $WST$  を移動させる。かかる移動は、主制御系 20 が、ウエハ干渉計 18 が検出したウエハステージ  $WST$  の位置情報（速度情報）に基づいて、ステージ制御系 19 を介してウエハステージ駆動部 24 を制御することにより行われる。この際、主制御系 20 は、多点フォーカス位置検出系（21, 22）の検出結果に基づいて、ピンホールパターン  $PH_1$  のピンホール像が結像される像面に波面センサ 90 の標示板 91 の上面を一致させるべく、ウエハステージ駆動部 24 を介してウエハステージ  $WST$  を  $Z$  軸方向に微少駆動する。

#### 【0082】

以上のようにして、最初のピンホールパターン  $PH_1$  からの球面波に関する投影光学系  $PL$  の波面収差測定のための光学的な各装置の配置が終了する。こうした、光学的配置について、波面センサ 90 の光軸  $AX_1$  及び投影光学系  $PL$  の光軸に沿って展開したものが、図 10 に示されている。

#### 【0083】

こうした光学配置において、照明系 10 から照明光  $IL$  が射出されると、測定用レチクル  $RT$  の最初のピンホールパターン  $PH_1$  に到達した光が、ピンホールパターン  $PH_1$  を通過する。そして、ピンホールパターン  $PH_1$  を通過した光は、投影光学系  $PL$  を介した後、波面センサ 90 の標示板 91 の開口 91 a に集光される。なお、最初のピンホールパターン  $PH_1$  以外のピンホールパターン  $PH_2 \sim PH_J$  を通過した光は、開口パターン 91 a には到達しない。こうして開口 91 a に集光された光の波面は、ほぼ球面ではあるが、投影光学系  $PL$  の波面収差を含んだものとなっている。

## 【 0 0 8 4 】

開口 9 1 a を通過した光は、コリメータレンズ 9 2 によりほぼ平行光に変換され、さらにリレーレンズ系 9 3 を介した後、マイクロレンズアレイ 9 4 に入射する。ここで、マイクロレンズアレイ 9 4 に入射する光の波面は、投影光学系 P L の波面収差を反映したものとなっている。すなわち、投影光学系 P L に波面収差が無い場合には、図 1 0 において点線で示されるように、その波面 W F が光軸 A X 1 と直交する平面となるが、投影光学系 P L に波面収差が有る場合には、図 9 において二点鎖線で示されるように、その波面 W F ' は位置に応じた角度で傾くことになる。

## 【 0 0 8 5 】

マイクロレンズアレイ 9 4 は、各マイクロレンズ 9 4 a ごとに、開口 9 1 a の像を、標示板 9 1 の共役面すなわち C C D 9 5 の撮像面に結像する。マイクロレンズ 9 4 a に入射した光の波面が光軸 A X 1 と直交する場合には、そのマイクロレンズ 9 4 a の光軸と撮像面の交点を中心とするスポット像が、撮像面に結像される。また、マイクロレンズ 9 4 a に入射した光の波面が傾いている場合には、その傾き量に応じた距離だけ、そのマイクロレンズ 9 4 a の光軸と撮像面の交点からずれた点を中心とするスポット像が撮像面に結像される。

## 【 0 0 8 6 】

図 8 に戻り、次いで、ステップ 1 1 3 において、C C D 9 5 により、その撮像面に形成された像の撮像を行う。この撮像により得られた撮像データ I M D は、波面データ処理装置 8 0 に供給される。波面データ処理装置 8 0 では、撮像データ収集装置 3 1 が撮像データ I M D を収集し、撮像データ格納領域 4 1 に収集した撮像データを格納する。

## 【 0 0 8 7 】

次に、ステップ 1 1 4 において、スポット像位置検出装置 3 2 が撮像データ格納領域 4 1 から撮像結果を読み出し、撮像結果に基づいて各スポット像の位置を検出する。そして、スポット像位置検出装置 3 2 は、検出された各スポット像の位置をスポット像位置格納領域 4 2 に格納する。

## 【 0 0 8 8 】

引き続き、ステップ 1 1 5 において、波面収差算出装置 3 3 が、位置データ格納領域 4 2 からスポット像位置の検出結果を読み出して、測定用レチクル R T における最初のピンホールパターン  $P H_1$  を介した光に関する投影光学系 P L の波面収差の 2 ～ M 次に関する収差成分  $Z M_{1,2} \sim Z M_{1,M}$  を算出する。かかる収差成分  $Z M_{1,2} \sim Z M_{1,M}$  の算出は、検出された各スポット像位置と、波面収差が無いときに期待される各スポット像位置との差から、フリンジツェルニケ多項式を使用した展開における 1 ～ M 次の各項の係数を求めることにより行われる。かかる収差成分の算出方法は周知であるので、説明を省略する。

【 0 0 8 9 】

波面収差算出装置 3 3 は、こうして算出された収差成分  $Z M_{1,2} \sim Z M_{1,M}$  を、波面収差測定結果としてピンホールパターン  $P H_1$  の位置とともに、波面収差データ格納領域 4 3 に格納する。

【 0 0 9 0 】

次に、ステップ 1 1 6 において、全てのピンホールパターンを通過した光に基づいて投影光学系 P L の波面収差を算出したか否かが判定される。この段階では、最初のピンホールパターン  $P H_1$  を通過した光についてのみ投影光学系 P L の波面収差を測定しただけなので、否定的な判定がなされ、処理はステップ 1 1 7 に移行する。

【 0 0 9 1 】

ステップ 1 1 7 では、波面センサ 9 0 の標示板 9 1 の開口 9 1 a が、次のピンホールパターン  $P H_2$  の投影光学系 P L に関する共役位置にウエハステージ W S T を移動させる。かかる移動は、主制御系 2 0 が、ウエハ干渉計 1 8 が検出したウエハステージ W S T の位置情報（速度情報）に基づいて、ステージ制御系 1 9 を介してウエハステージ駆動部 2 4 を制御することにより行われる。なお、このときも、主制御系 2 0 が、多点フォーカス位置検出系（2 1， 2 2）の検出結果に基づいて、ピンホールパターン  $P H_2$  のピンホール像が結像される像面に波面センサ 9 0 の標示板 9 1 の上面を一致させるべく、必要に応じて、ウエハステージ駆動部 2 4 を介してウエハステージ W S T を Z 軸方向に微少駆動する。

【 0 0 9 2 】

そして、上記のピンホールパターン  $PH_1$  の場合と同様にして、投影光学系  $PL$  の波面収差  $ZM_{2,2} \sim ZM_{2,M}$  が測定される。そして、波面収差の測定結果  $ZM_{2,2} \sim ZM_{2,M}$  は、ピンホールパターン  $PH_2$  の位置とともに、波面収差データ格納領域 4 4 に格納される。

【0093】

以後、上記と同様にして、全てのピンホールパターンを通過する光に基づいて投影光学系  $PL$  の波面収差を順次測定され、開口パターンごとの測定結果が開口パターンの位置とともに、波面収差データ格納領域 4 4 に格納される。こうして全てのピンホールパターンを通過する光について投影光学系  $PL$  の波面収差  $ZM_{j,2} \sim ZM_{j,M}$  ( $j = 1 \sim J$ ) が測定されると、ステップ 1 1 7 において肯定的な判定がなされる。そして、制御装置 3 9 が、波面収差データ格納領域 4 4 から波面収差の測定結果  $ZM_{j,2} \sim ZM_{j,M}$  を読み出し、波面測定結果データ  $WFA$  として主制御系 2 0 へ供給する。

【0094】

次に、ステップ 1 1 8 において、主制御系 2 0 が、記憶装置 2 8 から前述の補正情報  $AMI [ZA_{j,i}]$  ( $j = 1 \sim J, i = 2 \sim M$ ) を読み出す。そして、主制御系 2 0 は、波面データ処理装置 8 0 から供給された波面測定結果データ  $WFA [ZM_{j,i}]$  それぞれを、補正情報  $AMI [ZA_{j,i}]$  を用いて、次の (3) 式により補正し、最終的な波面収差測定結果  $ZF_{j,i}$  を求める。

【0095】

$$ZF_{j,i} = ZM_{j,i} - ZA_{j,i} \quad \dots (3)$$

【0096】

主制御系 2 0 は、こうして求められた波面収差測定結果  $ZF_{j,i}$  を、波面収差データ  $AWF$  として修正波面収差データ格納領域  $AWFA$  に格納する。こうして、サブルーチン 1 0 1 の処理が終了する。この後、処理が図 7 のステップ 1 0 2 に移行する。

【0097】

ステップ 1 0 2 では、主制御系 2 0 が、波面測定装置 7 0 (より正確には、制

御装置 3 9) から供給された波面収差測定結果  $Z F_{j,i}$  に基づいて、投影光学系 P L の波面収差の測定が許容値以下であるか否かを判定する。この判定が肯定的である場合には、処理がステップ 1 0 4 に移行する。一方、判定が否定的である場合には、処理はステップ 1 0 3 に移行する。この段階では、判定が否定的であり、処理がステップ 1 0 3 に移行したとして、以下の説明を行う。

## 【 0 0 9 8 】

ステップ 1 0 3 では、主制御系 2 0 が、投影光学系 P L の波面収差の測定結果に基づき、現在発生している波面収差を低減させるように、投影光学系 P L の波面収差の調整を行う。かかる波面収差の調整は、制御装置 3 9 が、結像特性補正コントローラ 5 1 を介してレンズエレメントの移動制御を行うことや、場合によっては、人手により投影光学系 P L のレンズエレメントの X Y 平面内での移動やレンズエレメントの交換を行うことによりなされる。

## 【 0 0 9 9 】

引き続き、サブルーチン 1 0 1 において、調整された投影光学系 P L に関する波面収差が上記と同様にして測定される。以後、ステップ 1 0 2 において肯定的な判断がなされるまで、投影光学系 P L の波面収差の調整（ステップ 1 0 3）と、波面収差の測定（サブルーチン 1 0 1）が繰り返される。そして、ステップ 1 0 2 において肯定的な判断がなされると処理は、ステップ 1 0 4 に移行する。

## 【 0 1 0 0 】

なお、以上のサブルーチン 1 0 1 ～ステップ 1 0 3 の処理は、前述のように、通常、露光装置 1 0 0 の設置時の検査や、定期メンテナンス時に行われるが、ウエハ交換ごと、ウエハロットごと、又はレチクル交換ごとに行ってもよい。

## 【 0 1 0 1 】

ステップ 1 0 4 では、波面センサ 9 0 をウエハステージ W S T から取り外し、波面データ処理装置 8 0 と主制御系 2 0 との接続を切断した後、主制御系 2 0 の制御のもとで、不図示のレチクルローダにより、転写したいパターンが形成されたレチクル R がレチクルステージ R S T にロードされる。また、不図示のウエハローダにより、露光したいウエハ W がウエハステージ W S T にロードされる。

## 【 0 1 0 2 】

次に、ステップ 1 0 5 において、主制御系 2 0 の制御のもとで、露光準備用計測が行われる。すなわち、ウエハステージ W S T 上に配置された不図示の基準マーク板を使用したレチクルアライメントや、更にアライメント顕微鏡 A S を使用したベースライン量の測定等の準備作業が行われる。また、ウエハ W に対する露光が第 2 層目以降の露光であるときには、既に形成されている回路パターンと重ね合わせ精度良く回路パターンを形成するため、アライメント顕微鏡 A S を使用した上述の E G A 計測により、ウエハ W 上におけるショット領域の位置（配列座標）が高精度で検出される。

#### 【 0 1 0 3 】

次いで、ステップ 1 0 6 において、露光が行われる。この露光動作にあたって、まず、ウエハ W の X Y 位置が、ウエハ W 上の最初のショット領域（ファースト・ショット）の露光のための走査開始位置となるように、ウエハステージ W S T が移動される。ウエハ干渉計 1 8 からの位置情報（速度情報）等（第 2 層目以降の露光の場合には、基準座標系と配列座標系との位置関係の検出結果、ウエハ干渉計 1 8 からの位置情報（速度情報）等）に基づき、主制御系 2 0 によりステージ制御系 1 9 及びウエハステージ駆動部 2 4 等を介して行われる。同時に、レチクル R の X Y 位置が、走査開始位置となるように、レチクルステージ R S T が移動される。この移動は、主制御系 2 0 によりステージ制御系 1 9 及び不図示のレチクル駆動部等を介して行われる。

#### 【 0 1 0 4 】

次に、ステージ制御系 1 9 が、主制御系 2 0 からの指示に応じて、多点フォーカス位置検出系（ 2 1 , 2 2 ）によって検出されたウエハの Z 位置情報、レチクル干渉計 1 6 によって計測されたレチクル R の X Y 位置情報、ウエハ干渉計 1 8 によって計測されたウエハ W の X Y 位置情報に基づき、不図示のレチクル駆動部及びウエハステージ駆動部 2 4 を介して、ウエハ W の面位置の調整を行いつつ、レチクル R とウエハ W とを相対移動させて走査露光を行う。

#### 【 0 1 0 5 】

こうして、最初のショット領域の露光が終了すると、次のショット領域の露光のための走査開始位置となるように、ウエハステージ W S T が移動されるととも

に、レチクルRのXY位置が、走査開始位置となるように、レチクルステージRSTが移動される。そして、当該ショット領域に関する走査露光が、上述の最初のショット領域と同様にして行われる。以後、同様にして各ショット領域について走査露光が行われ、露光が完了する。

#### 【0106】

そして、ステップ107において、不図示のアンローダにより、露光が完了したウエハWがウエハホルダ25からアンロードされる。こうして、1枚のウエハWの露光処理が終了する。

#### 【0107】

以後のウエハの露光においては、ステップ101～103の投影光学系PLに関する波面収差の測定及び調整が必要に応じて行われながら、ステップ104～107のウエハ露光作業が行われる。

#### 【0108】

以上のように、本実施形態によれば、露光装置100に組み込まれた後の投影光学系PLの2～M次に関する収差成分 $ZF_{j,i}$  ( $i = 2 \sim M$ )を求めるにあたり、事前に正確に測定された $(M+1) \sim N$  ( $N > M$ )次の収差成分 $Z0_{j,M+1} \sim Z0_{j,N}$ に基づき、 $(M+1) \sim N$ 次に関する収差成分 $Z0_{j,M+1} \sim Z0_{j,N}$ が波面測定装置70で測定された1～M次に関する収差成分 $ZM_{j,i}$ に入り込む分 $ZA_{j,i}$ を算出する。この入り込み分 $ZA_{j,i}$ で、波面測定装置70で測定された2～M次に関する収差成分 $ZM_{j,i}$ を補正して、最終的に収差成分 $ZF_{j,i}$ を求める。したがって、投影光学系PLの波面収差の2～M次に関する収差成分 $ZF_{j,i}$ 精度良く求めることができる。

#### 【0109】

また、精度良く求められた投影光学系PLの波面収差に基づいて、投影光学系PLの収差を調整し、十分に諸収差が低減された投影光学系PLによりレチクルRに形成された所定のパターンがウエハW表面に投影されるので、所定のパターンをウエハWに精度良く転写することができる。

#### 【0110】

なお、上記の実施形態では、測定用レチクルRTにおける開口パターンを9つ

としたが、所望の波面収差の測定精度に応じて、数を増減することが可能である。また、マイクロレンズアレイ 9 4 におけるマイクロレンズ 9 4 a の配列数や配列態様も、所望の波面収差の測定精度に応じて変更することが可能である。

#### 【0 1 1 1】

なお、本実施形態で、さらに測定精度を向上させるために、以下の方法を取り入れることも可能である。

#### 【0 1 1 2】

すなわち、CCD 9 5 のサンプリング誤差を低減するために、波面センサ 9 0 をステップングさせる。例えば、CCD 9 5 のセルサイズを  $PT$  としたとき、所定方向に  $(PT/N)$  ずつ  $N$  回ステップングさせる。そして、ステップングの度に得られるデータに基づいて補間処理をして強度分布を求めることにより、位置分解能を向上して強度分布を求めることができる。例えば、CCD 9 5 のみをステップングさせた場合には、通常の静止させた場合に得られるデータのみを使用して得られる強度分布と比べ、当該所定方向に沿って  $N$  倍の位置分解能で強度分布を得ることができる。なお、2 次元的に位置分解能を向上させる場合には、波面センサ 9 0 を 2 次元的にステップングさせればよい。

#### 【0 1 1 3】

このステップングさせる方法としては、波面センサ 9 0 の開口 9 1 a を中心としてチルトさせる方法がある。また、波面センサ 9 0 全体を移動させるだけに限らず、波面センサ 9 0 を構成する他の要素の位置は固定したままで、波面センサ 9 0 を構成するマイクロレンズアレイ 9 4 を波面収差測定光学系の光軸と直交する方向にシフトさせたり、CCD 9 5 を波面収差測定光学系の光軸と直交する方向にシフトさせたり、さらにはマイクロレンズアレイ 9 4 及び CCD 9 5 を一緒にシフトさせたりすればよい。

#### 【0 1 1 4】

また、上記実施形態では、補正情報  $AMI$  を、本来は  $(M+1) \sim N$  次に関する収差成分  $Z_{0,j,M+1} \sim Z_{0,j,N}$  の波面測定装置 7 0 で測定された  $2 \sim M$  次に関する収差成分  $Z_{M,j,i}$  への入り込み分  $Z_{A,j,i}$  としたが、この値  $Z_{A,j,i}$  に代えて前述の高次収差波面  $WA_j$  を補正情報  $AMI$  とすることもできる。かかる場合には

、前述の図 8 のステップ 1 1 8 における主制御系 2 0 の処理が以下になる。

【 0 1 1 5 】

まず、主制御系 2 0 は、波面測定装置 7 0 で測定された収差成分  $ZM_{j,i}$  に基づき、収差成分  $ZM_{j,i}$  を波面の 2 ～ M 次に関する主成分とする収差波面  $WB_j$  を算出する。引き続き、主制御系 2 0 は、記憶装置 2 8 の補正情報格納領域 AMI A から高次収差波面  $WA_j$  を読み出し、修正波面  $WC_j$  を次の (4) により算出する。

$$WC_j = WB_j - WA_j \quad \dots (4)$$

【 0 1 1 6 】

次に、主制御系 2 0 は、修正波面  $WC_j$  及び波面センサ 9 0 の数学モデルに基づき、波面測定装置 7 0 によって修正波面  $WC_j$  の波面を測定したとしたときに求められる収差成分  $ZF_{j,i}'$  を算出する。こうして得られた収差成分  $ZF_{j,i}'$  は、上記の実施形態で得られる最終的な収差成分  $ZF_{j,i}$  と同等なものとなっている。

【 0 1 1 7 】

また、上記の実施形態では、高次収差波面  $WA_j$  の算出にあたり、収差成分  $Z0_{j,2} \sim Z0_{j,N}$  のうち、収差成分  $Z0_{j,2} \sim Z0_{j,M}$  を 0 とし、収差成分  $Z0_{j,M+1} \sim Z0_{j,N}$  を用いたが、収差成分  $Z0_{j,M+1} \sim Z0_{j,N}$  の全てを用いる必要はない。高次収差波面  $WA_j$  を算出する場合には、収差成分  $Z0_{j,M+1} \sim Z0_{j,N}$  のうちの少なくとも 1 つを有していればよい。

【 0 1 1 8 】

また、収差成分  $Z0_{j,M+1} \sim Z0_{j,N}$  に基づいて、高次収差波面  $WA_j$  を算出する場合に、精度は低下するが、収差成分  $Z0_{j,2} \sim Z0_{j,M}$  のうちのいずれか一つの収差成分を含んでいてもよい。

【 0 1 1 9 】

また、上記の実施形態では、波面測定装置 7 0 によって測定される収差成分の次数が連続的であるとしたが、不連続的（いわゆる中抜け）であってもよい。かかる場合には、波面測定装置 7 0 によっては測定されない次数の収差成分の事前

測定結果の少なくとも1つを含んで、上記の実施形態における高次収差波面 $W A_j$ に相当する補正用波面を算出すればよい。

#### 【0120】

また、上記の実施形態では、投影光学系 $P L$ の波面収差の測定を、波面測定装置70を用いて行い、測定結果を補正する場合について説明したが、次に説明するような測定用レチクル $R T'$ （以下、適宜「レチクル $R T'$ 」ともいう）を用いて波面収差を測定し、その測定結果を上記の実施形態と同様にして補正することとする変形も可能である。なお、本変形例では主制御系20内に、上記の実施形態における主制御系20の機能に加えて、前述した波面収差算出装置33の機能が実装されている。

#### 【0121】

図11には、この測定用レチクル $R T'$ の概略斜視図が示されている。また、図12には、レチクルステージ $R S T$ 上に装填した状態におけるレチクル $R T'$ の光軸 $A X$ 近傍の $X Z$ 断面の概略図が、投影光学系 $P L$ の模式図とともに示されている。また、図13には、レチクルステージ $R S T$ 上に装填した状態におけるレチクル $R T'$ の $-Y$ 側端部近傍の $X Z$ 断面の概略図が、投影光学系 $P L$ の模式図とともに示されている。

#### 【0122】

図11に示されるように、この測定用レチクル $R T'$ の全体形状は、通常のペリクル付きレチクルとほぼ同様の形状を有している。この測定用レチクル $R T'$ は、ガラス基板160、該ガラス基板160の図11における上面の $X$ 軸方向中央部に、固定された長方形板状の形状を有するレンズ保持部材162、ガラス基板160の下面に取り付けられた通常のペリクルフレームと同様の外観を有する枠状部材から成るスペーサ部材164、及びこのスペーサ部材164の下面に取り付けられた開口板166等を備えている。

#### 【0123】

前記レンズ保持部材162には、照明光 $I L$ の照射領域となるスリット状の領域にマトリックス状配置で $R$ 個の円形開口163 $_{p,q}$ （ $p = 1 \sim P$ 、 $q = 1 \sim Q$ 、 $P \times Q = R$ ）が形成されている。各円形開口163 $_{p,q}$ の内部には、 $Z$ 軸方向

の光軸を有する凸レンズから成る集光レンズ $165_{p,q}$ がそれぞれ設けられている（図12参照）。

#### 【0124】

また、ガラス基板160とスペーサ部材164と開口板166とで囲まれる空間の内部には、図12に示されるように、補強部材169が所定の間隔で設けられている。

#### 【0125】

更に、ガラス基板160の下面には、前記各集光レンズ $165_{p,q}$ に対向して、図12に示されるように、計測用パターン $167_{p,q}$ がそれぞれ形成されている。また、開口板166には、図12に示されるように、各計測用パターン $167_{p,q}$ にそれぞれ対向して微小開口 $170_{p,q}$ が形成されている。この微小開口 $170_{p,q}$ は、例えば直径 $15\mu\text{m}$ 程度とされている。

#### 【0126】

図11に戻り、レンズ保持部材162には、Y軸方向の両端部の一部の帯状の領域の中央部に、開口 $172_1$ 、 $172_2$ がそれぞれ形成されている。図13に示されるように、ガラス板160の下面（パターン面）には、一方の開口 $172_1$ に対向して基準パターン $174_1$ が形成されている。また、図示は省略されているが、他方の開口 $172_2$ に対向して、ガラス板160の下面（パターン面）に、基準パターン $174_1$ と同様の基準パターン（便宜上、「基準パターン $174_2$ 」と記述する）が形成されている。

#### 【0127】

また、図11に示されるように、ガラス基板160のレチクル中心を通るX軸上には、レンズ保持部材162の両外側に、レチクル中心に関して対称な配置で一对のレチクルアライメントマークRM1、RM2が形成されている。

#### 【0128】

ここで、本実施形態では、計測用パターン $167_{p,q}$ として、図14（A）に示されるような網目状（ストリートライン状）のパターンが用いられている。また、これに対応して、基準パターン $174_1$ 、 $174_2$ として、図14（B）に示されるような、計測用パターン $167_{p,q}$ と同一ピッチで正方形パターンが配置

された 2 次元の格子パターンが用いられている。なお、基準パターン  $174_1$ 、 $174_2$  として図 1 4 (A) のパターンを用い、計測用パターンとして図 1 4 (B) に示されるパターンを用いることは可能である。また、計測用パターン  $167_{p,q}$  は、これに限られず、その他の形状のパターンを用いてもよい。その場合には、基準パターンとして、その計測用パターンとの間に所定の位置関係があるパターンを用いればよい。すなわち、基準パターンは、計測用パターンの位置ずれの基準となるパターンであればよく、その形状等は問わない。

## 【 0 1 2 9 】

次に、露光装置本体 6 0 において、レチクル R T' を用いる場合の投影光学系 P L の波面収差の計測について説明する。

## 【 0 1 3 0 】

まず、測定用レチクル R T' を用いて、投影光学系 P L の視野内の複数（ここでは、R 個）の計測点において、以下のようにして、波面収差を計測する。

## 【 0 1 3 1 】

まず、不図示のレチクルローダを介して測定用レチクル R T' がレチクルステージ R S T 上にロードされる。次いで、主制御系 2 0 が、ウエハ干渉計 1 8 の出力をモニタしつつ、ウエハステージ駆動部 2 4 を介してウエハステージ W S T を移動し、不図示の基準マーク板上の一对のレチクルアライメント用基準マークを予め定められた基準位置に位置決めする。ここで、この基準位置とは、例えば一对の第 2 基準マークの中心が、ウエハ干渉計 1 8 で規定されるステージ座標系上の原点に一致する位置に定められている。

## 【 0 1 3 2 】

次に、主制御系 2 0 が、測定用レチクル R T' 上の一对のレチクルアライメントマーク R M 1、R M 2 とこれらに対応するレチクルアライメント用基準マークとを、不図示の一对のレチクルアライメント顕微鏡により同時に観察し、レチクルアライメントマーク R M 1、R M 2 の基準板上への投影像と、対応する基準マークとの位置ずれが、共に最小となるように、不図示のレチクルステージ駆動部を介してレチクルステージ R S T を X Y 2 次元面内で微少駆動する。これにより、レチクルアライメントが終了し、レチクル中心が投影光学系 P L の光軸にほぼ

一致する。

【 0 1 3 3 】

次に、不図示のウエハローダを用いて表面にレジスト（感光剤）が塗布されたウエハWをウエハホルダ25にロードする。

【 0 1 3 4 】

次いで、主制御系20が、照明光ILをレチクルRT'に照射して露光を行う。これにより、図12に示されるように、各計測用パターン167<sub>p,q</sub>が、対応するピンホール状の開口170<sub>p,q</sub>及び投影光学系PLを介して同時に転写される。この結果、ウエハW上のレジスト層には、図15（A）に示されるような各計測用パターン167<sub>p,q</sub>の縮小像（潜像）167'<sub>p,q</sub>が、所定間隔でXY2次元方向に沿って所定間隔で形成される。

【 0 1 3 5 】

次に、主制御系20が、レチクル干渉計16の計測値とレチクルセンタと一方の基準パターン174<sub>1</sub>との設計上の位置関係とに基づいて、基準パターン174<sub>1</sub>の中心位置が光軸AX上に一致するように、レチクルステージ駆動部を介してレチクルステージRSTをY軸方向に所定距離移動する。次いで、主制御系20は、その移動後の開口172<sub>1</sub>を含むレンズ保持部材162上の所定面積の矩形領域（この領域は、いずれの集光レンズにも掛からない）にのみ照明光ILの照明領域を規定する。

【 0 1 3 6 】

次に、主制御系20が、最初の計測用パターン167<sub>1,1</sub>の潜像167'<sub>1,1</sub>が形成されたウエハW上の領域のほぼ中心が、投影光学系PLの光軸上にほぼ一致するように、ウエハ干渉計18の計測値をモニタしつつ、ウエハステージWSTを移動する。

【 0 1 3 7 】

そして、主制御系20が、照明光ILをレチクルRT'に照射して露光を行う。これにより、ウエハW上のレジスト層の計測用パターン167<sub>1,1</sub>の潜像が既に形成されている領域（領域S<sub>1,1</sub>と呼ぶ）に基準パターン174<sub>1</sub>が重ねて転写される。この結果、ウエハW上の領域S<sub>1,1</sub>には、図15（B）に示されるよう

に、計測用パターン  $167_{1,1}$  の潜像  $167'_{1,1}$  と基準パターン  $174_1$  の潜像  $174'_1$  が同図のような位置関係で形成される。

【0138】

次いで、主制御系 20 は、レチクル  $RT'$  上の計測用パターン  $167_{p,q}$  の配列ピッチと投影光学系  $PL$  の投影倍率とに基づいて、ウエハ  $W$  上の計測用パターン  $167_{p,q}$  の設計上の配列ピッチを算出し、そのピッチだけ、ウエハステージ  $WST$  を  $X$  軸方向に移動して、第 2 番目の計測用パターン  $167_{1,2}$  の潜像が形成されたウエハ  $W$  上の領域（領域  $S_{1,2}$  と呼ぶ）のほぼ中心が、投影光学系  $PL$  の光軸上にほぼ一致するように、ウエハステージ  $WST$  を移動する。

【0139】

そして、主制御系 20 が、照明系 10 を制御して、照明光  $IL$  をレチクル  $RT'$  に照射して露光を行う。これにより、ウエハ  $W$  上の領域  $S_{1,2}$  には基準パターン  $174_1$  が重ねて転写される。

【0140】

以後、上記と同様の領域間ステッピング動作と、露光動作とを繰り返すことにより、ウエハ  $W$  上の領域  $S_{p,q}$  に、図 15 (B) と同様の計測用パターンと基準パターンとの潜像が形成される。

【0141】

このようにして、露光が終了すると、不図示のウエハローダによりウエハ  $W$  がウエハホルダ 25 からアンロードされ、不図示のコータ・デベロッパ（以下、「 $C/D$ 」と略述する）に送られる。そして、 $C/D$  内で、そのウエハ  $W$  の現像が行われ、その現像後にウエハ  $W$  上には、マトリックス状に配列された各領域  $S_{p,q}$  に図 15 (B) と同様の配置で計測用パターンと基準パターンとのレジスト像が形成される。

【0142】

その後、現像が終了したウエハ  $W$  は、 $C/D$  から取り出され、不図示の外部の重ね合せ測定器（レジストレーション測定器）によって、ウエハ  $W$  上の各領域  $S_{p,q}$  についての重ね合せ誤差の測定が行われる。なお、重ね合せ測定器としては、周知のものが使用されるので、その説明を省略する。

## 【 0 1 4 3 】

そして、この測定の結果に基づいて、基準パターン  $174_1$  に対する各計測用パターン  $167_{p,q}$  のレジスト像の位置誤差（位置ずれ）が算出される。なお、この位置ずれの算出方法は、種々考えられるが、いずれにしても、計測された生データに基づいて統計演算を行うことが、精度を向上する観点からは望ましい。

## 【 0 1 4 4 】

このようにして、各領域  $S_{p,q}$  について、基準パターンに対する計測用パターンの X, Y 2 次元方向の位置ずれが求められる。そして、この各領域  $S_{p,q}$  についての位置ずれのデータが、主制御系 20 に供給される。

## 【 0 1 4 5 】

主制御系 20 は、供給された位置ずれに基づいて、各領域  $S_{p,q}$  に対応する、すなわち投影光学系 PL の視野内の第 1 計測点～第 R 計測点に対応する波面（波面収差）の 1～M 次に関する収差成分を、上記の実施形態と同様に算出する。そして、上記の実施形態と同様にして、その算出結果を補正する。

## 【 0 1 4 6 】

次に、位置ずれと波面との物理的な関係を、図 12 及び図 13 に基づいて簡単に説明する。

## 【 0 1 4 7 】

図 12 に、計測用パターン  $167_{k,l}$  について、代表的に示されるように、計測用パターン  $167_{p,q}$  で発生した回折光のうち、微小開口  $170_{p,q}$  を通過した光は、計測用パターン  $167_{p,q}$  のどの位置に由来する光であるかによって、投影光学系 PL の瞳面を介する位置が異なる。すなわち、当該瞳面の各位置における波面は、その位置に対応する計測用パターン  $167_{p,q}$  における位置を介した光の波面に対応している。そして、仮に投影光学系 PL に収差が全くないものとする、投影光学系 PL の瞳面の各位置を通過する波面は、符号  $F_1$  で示されるような理想波面（ここでは平面）となるはずである。しかるに、収差の全く無い投影光学系は実際には存在しないため、瞳面においては、例えば、点線で示されるような曲面状の波面  $F_2$  となる。従って、計測用パターン  $167_{p,q}$  の像は、ウェハ W 上で波面  $F_1$  の理想波面に対する傾きに応じてずれた位置に結像される。

## 【 0 1 4 8 】

この一方、基準パターン $174_1$ （又は $174_2$ ）から発生する回折光は、図13に示されるように、ピンホール状の開口の制限を受けることなく、しかも投影光学系PLに直接入射し、該投影光学系PLを介してウエハW上に結像される。更に、この基準パターン $174_1$ を用いた露光は、投影光学系PLの光軸上に基準パターン $174_1$ の中心を位置決めした状態で行われることから、基準パターン $174_1$ から発生する結像光束は殆ど投影光学系PLの収差の影響を受けることなく、光軸を含む微小領域に位置ずれなく結像する。

## 【 0 1 4 9 】

従って、位置ずれは、波面の理想波面に対する傾斜をそのまま反映した値になり、逆に位置ずれに基づいて波面を復元することができる。なお、上記の位置ずれと波面との物理的な関係から明らかなように、本変形例における波面の算出原理は、上記の実施形態の波面算出原理と等価なものである。

## 【 0 1 5 0 】

なお、測定用レチクルRT'と同様の構成の特殊な構造のマスクを用いて、計測用パターン及び基準パターンを、投影光学系を介して基板上に焼き付けて、計測用パターンのレジスト像それぞれの基準パターンのレジスト像に対する位置ずれを計測し、その計測結果に基づいて波面収差を算出する技術が、米国特許第5,978,085号に開示されている。

## 【 0 1 5 1 】

なお、上記の実施形態では、高次の収差成分が低次の収差成分に入り込む、次数間クロストークを補正したが、低次の収差成分同士の次数間クロストークを更に考慮した補正をすることも可能である。かかる場合には、事前の補正情報の算出にあたって、上記実施形態の情報に加え、低次の次数間クロストークの態様を波面測定装置70の数学モデルに基づいて求め、各次数の補正情報を算出するようにすればよい。

## 【 0 1 5 2 】

また、上記の実施形態では、基底としてフリンジツェルニケ多項式を使用した展開によって波面収差を表わし、所望の次数の収差成分を求めたが、他の基底を

使用した展開によって波面収差を表し、所望の次数の収差成分を求めることができるのは勿論である。

【 0 1 5 3 】

また、上記の実施形態では、シャッターハルトマン方式の波面測定を行ったが、例えばシアリング干渉計を用いた干渉縞観測等によって、波面測定をすることも可能である。かかる場合にも上記の実施形態と同様の補正をすることにより、波面収差を精度良く測定することができる。

【 0 1 5 4 】

また、上記の実施形態では、露光にあたっては波面測定装置 7 0 を露光装置本体 6 0 から切り離したが、波面測定装置 7 0 を露光装置本体 6 0 に装着したままで露光してもよいことは勿論である。

【 0 1 5 5 】

また、上記の実施形態では、走査型露光装置の場合を説明したが、本発明は、投影光学系を備える露光装置であれば、ステップ・アンド・リピート機、ステップ・アンド・スキャン機、ステップ・アンド・スティッチング機を問わず適用することができる。

【 0 1 5 6 】

また、上記実施形態では、露光装置における投影光学系の収差計測に本発明を適用したが、露光装置に限らず、他の種類の装置における結像光学系の諸収差の計測にも本発明を適用することができる。

【 0 1 5 7 】

さらに、光学系の収差計測以外であっても、例えば反射鏡の形状等の様々な光学系の光学特性の測定にも本発明を適用することができる。

【 0 1 5 8 】

《デバイスの製造》

次に、上記の実施形態の露光装置を使用したデバイスの製造について説明する。

【 0 1 5 9 】

図 1 6 には、本実施形態におけるデバイス（I C や L S I 等の半導体チップ、

液晶パネル、CCD、薄膜磁気ヘッド、マイクロマシン等）の生産のフローチャートが示されている。図16に示されるように、まず、ステップ201（設計ステップ）において、デバイスの機能設計（例えば、半導体デバイスの回路設計等）を行い、その機能を実現するためのパターン設計を行う。引き続き、ステップ202（マスク製作ステップ）において、設計した回路パターンを形成したマスクを製作する。一方、ステップ203（ウエハ製造ステップ）において、シリコン等の材料を用いてウエハを製造する。

#### 【0160】

次に、ステップ204（ウエハ処理ステップ）において、ステップ201～ステップ203で用意したマスクとウエハを使用して、後述するように、リソグラフィ技術によってウエハ上に実際の回路等を形成する。次いで、ステップ205（デバイス組立ステップ）において、ステップ204において処理されたウエハを用いてチップ化する。このステップ205には、アッセンブリ工程（ダイシング、ボンディング）パッケージング工程（チップ封入）等の工程が含まれる。

#### 【0161】

最後に、ステップ206（検査ステップ）において、ステップ205で作製されたデバイスの動作確認テスト、耐久性テスト等の検査を行う。こうした工程を経た後にデバイスが完成し、これが出荷される。

#### 【0162】

図17には、半導体デバイスの場合における、上記ステップ204の詳細なフロー例が示されている。図17において、ステップ211（酸化ステップ）においてはウエハの表面を酸化させる。ステップ212（CVDステップ）においてはウエハ表面に絶縁膜を形成する。ステップ213（電極形成ステップ）においてはウエハ上に電極を蒸着によって形成する。ステップ214（イオン打込みステップ）においてはウエハにイオンを打ち込む。以上のステップ211～ステップ214それぞれは、ウエハプロセスの各段階の前処理工程を構成しており、各段階において必要な処理に応じて選択されて実行される。

#### 【0163】

ウエハプロセスの各段階において、前処理工程が終了すると、以下のようにし

て後処理工程が実行される。この後処理工程では、まず、ステップ 2 1 5（レジスト形成ステップ）において、ウエハに感光剤を塗布し、引き続き、ステップ 2 1 6（露光ステップ）において、上記で説明した実施形態の露光装置及び露光方法によってマスクの回路パターンをウエハに焼付露光する。次に、ステップ 2 1 7（現像ステップ）においては露光されたウエハを現像し、引き続き、ステップ 2 1 8（エッチングステップ）において、レジストが残存している部分以外の部分の露出部材をエッチングにより取り去る。そして、ステップ 2 1 9（レジスト除去ステップ）において、エッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。

#### 【0 1 6 4】

これらの前処理工程と後処理工程とを繰り返し行うことによって、ウエハ上に多重に回路パターンが形成される。

#### 【0 1 6 5】

以上のようにして、精度良く微細なパターンが形成されたデバイスが製造される。

#### 【0 1 6 6】

##### 【発明の効果】

以上詳細に説明したように、本発明の波面収差測定方法及び波面収差測定装置によれば、被検光学系の波面収差を精度良く測定することができる。

#### 【0 1 6 7】

また、本発明の露光装置によれば、波面収差が良好に調整されていることが保証された投影光学系を使用して、所定のパターンを基板に転写することができる。

#### 【0 1 6 8】

また、本発明のデバイス製造方法によれば、リソグラフィ工程において、本発明の露光装置を使用して所定のパターンを基板に転写するので、精度良く微細なパターンが形成されたデバイスを製造することができる。

##### 【図面の簡単な説明】

#### 【図 1】

本発明の一実施形態に係る露光装置の構成を概略的に示す図である。

【図 2】

図 1 の波面センサの構成を概略的に示す図である。

【図 3】

図 2 の標示板の表面状態を説明するための図である。

【図 4】

図 4 (A) 及び図 4 (B) は、図 2 のマイクロレンズアレイの構成を示す図である。

【図 5】

図 1 の波面データ処理装置内の主制御装置の構成を示すブロック図である。

【図 6】

補正情報を求める処理を説明するためのフローチャートである。

【図 7】

図 1 の装置による露光動作における処理を説明するためのフローチャートである。

【図 8】

図 7 の収差測定サブルーチンにおける処理を説明するためのフローチャートである。

【図 9】

測定用レチクルに形成された測定用パターンの例を示す図である。

【図 1 0】

図 1 の装置における波面収差測定時の光学配置を説明するための図である。

【図 1 1】

変形例における測定用レチクルを示す概略斜視図である。

【図 1 2】

変形例において、レチクルステージ上に装填した状態における測定用レチクルの光軸近傍の X Z 断面の概略図を投影光学系の模式図とともに示す図である。

【図 1 3】

変形例において、レチクルステージ上に装填した状態における測定用レチクル

の-Y側端部近傍のXZ断面の概略図を投影光学系の模式図とともに示す図である。

【図 1 4】

図 1 4 (A) は、変形例における計測用レチクルに形成された測定用パターンを示す図であり、図 1 4 (B) は、変形例における測定用レチクルに形成された基準パターンを示す図である。

【図 1 5】

図 1 5 (A) は、変形例において、ウエハ上のレジスト層に所定間隔で形成される計測用パターンの縮小像（潜像）を示す図であり、図 1 5 (B) は、図 1 5 (A) の計測用パターンの潜像と基準パターンの潜像の位置関係を示す図である。

【図 1 6】

図 1 の露光装置を用いたデバイス製造方法を説明するためのフローチャートである。

【図 1 7】

図 1 6 のウエハ処理ステップにおける処理のフローチャートである。

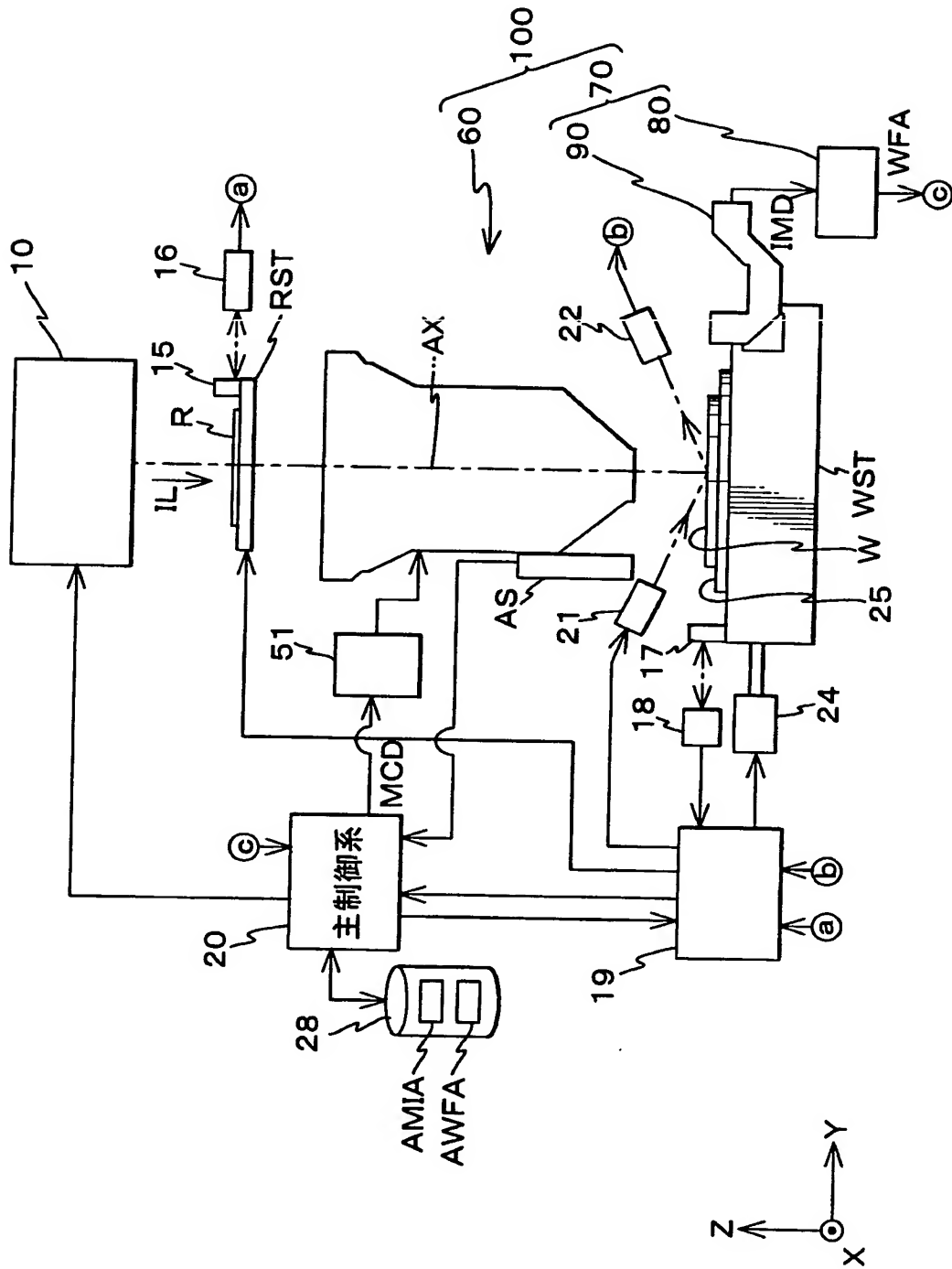
【符号の説明】

2 0 …主制御系（補正装置）、2 8 …記憶装置、6 0 …露光装置本体、7 0 …波面測定装置（測定系）、8 0 …波面データ処理装置（収差成分算出装置）、9 4 …マイクロレンズアレイ（波面分割素子）、9 4 a …マイクロレンズ（レンズ要素）、1 0 0 …露光装置、R T' …測定用レチクル（パターン形成部材）、P L …投影光学系（被検光学系）、W …ウエハ（基板）。

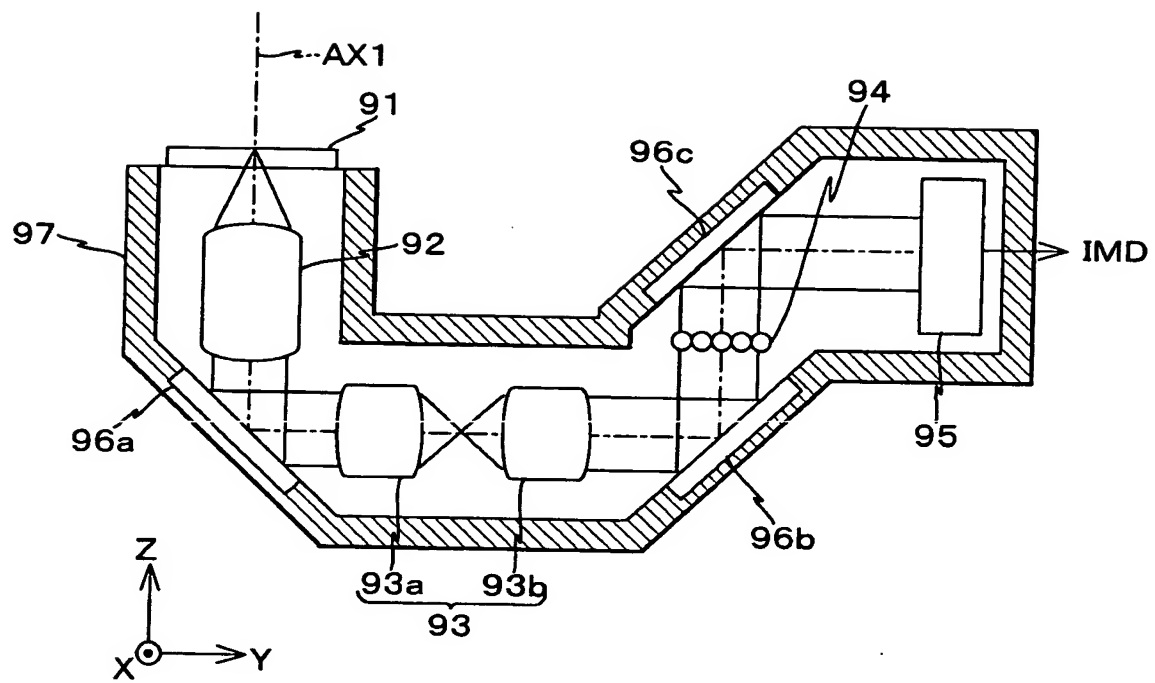
【書類名】

図面

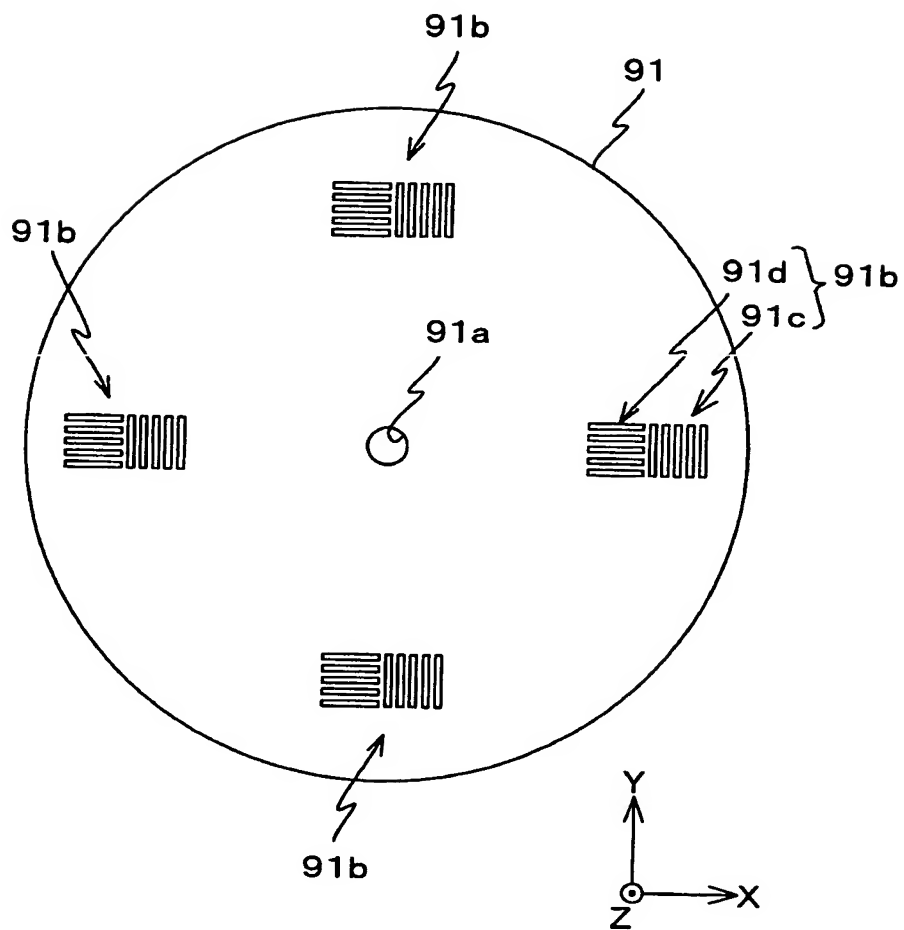
【図1】



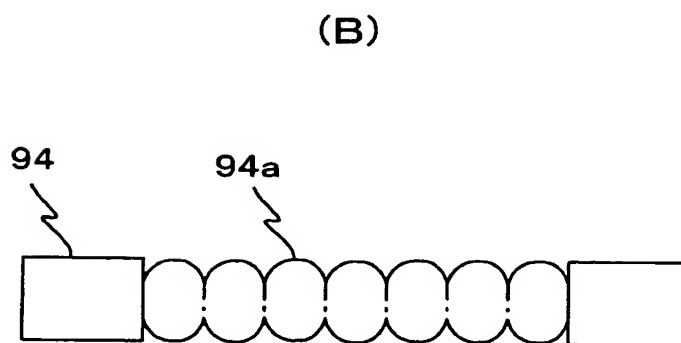
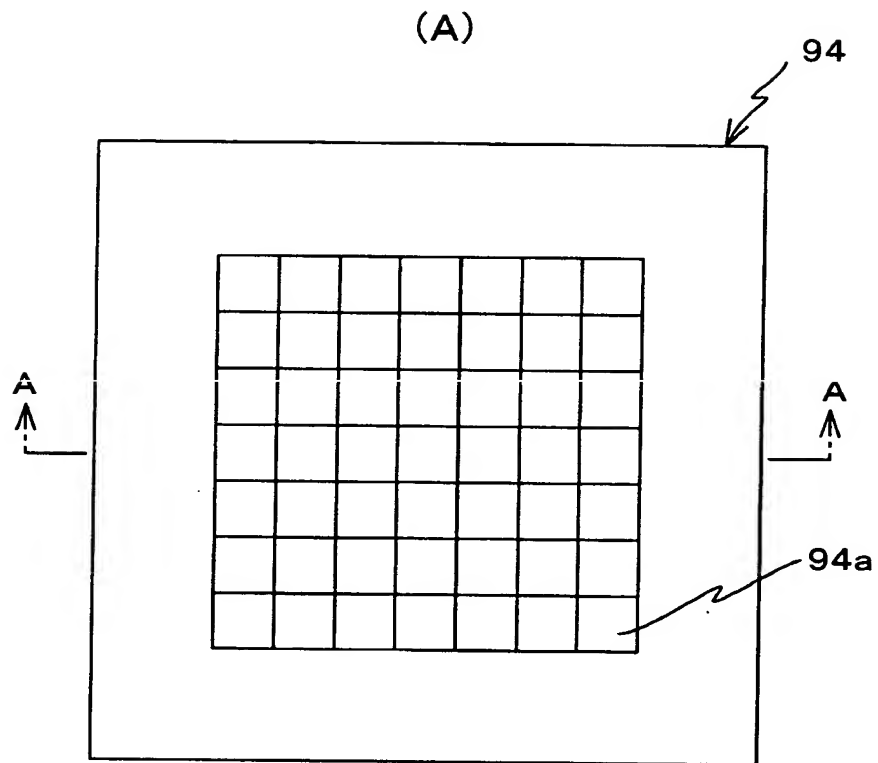
【図 2】



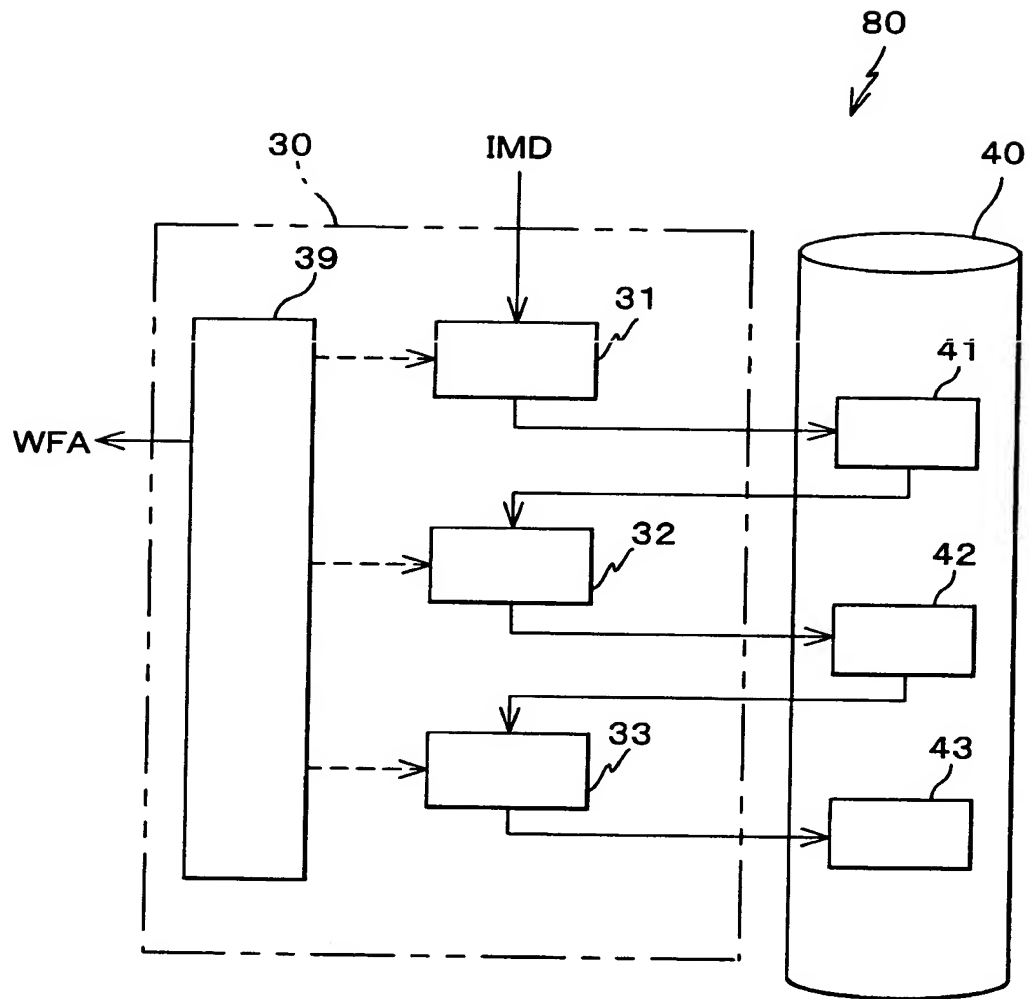
【図 3】



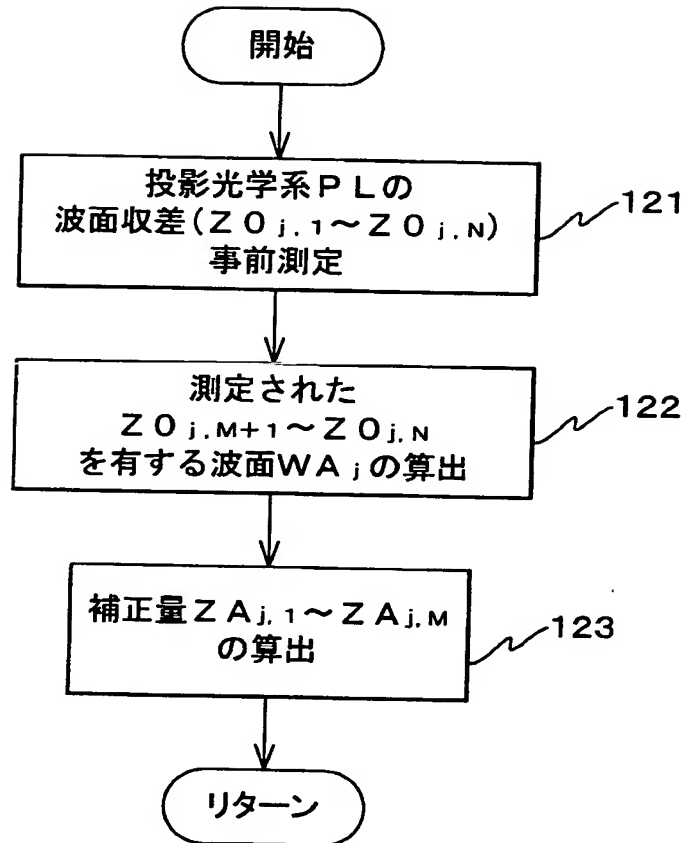
【図 4】



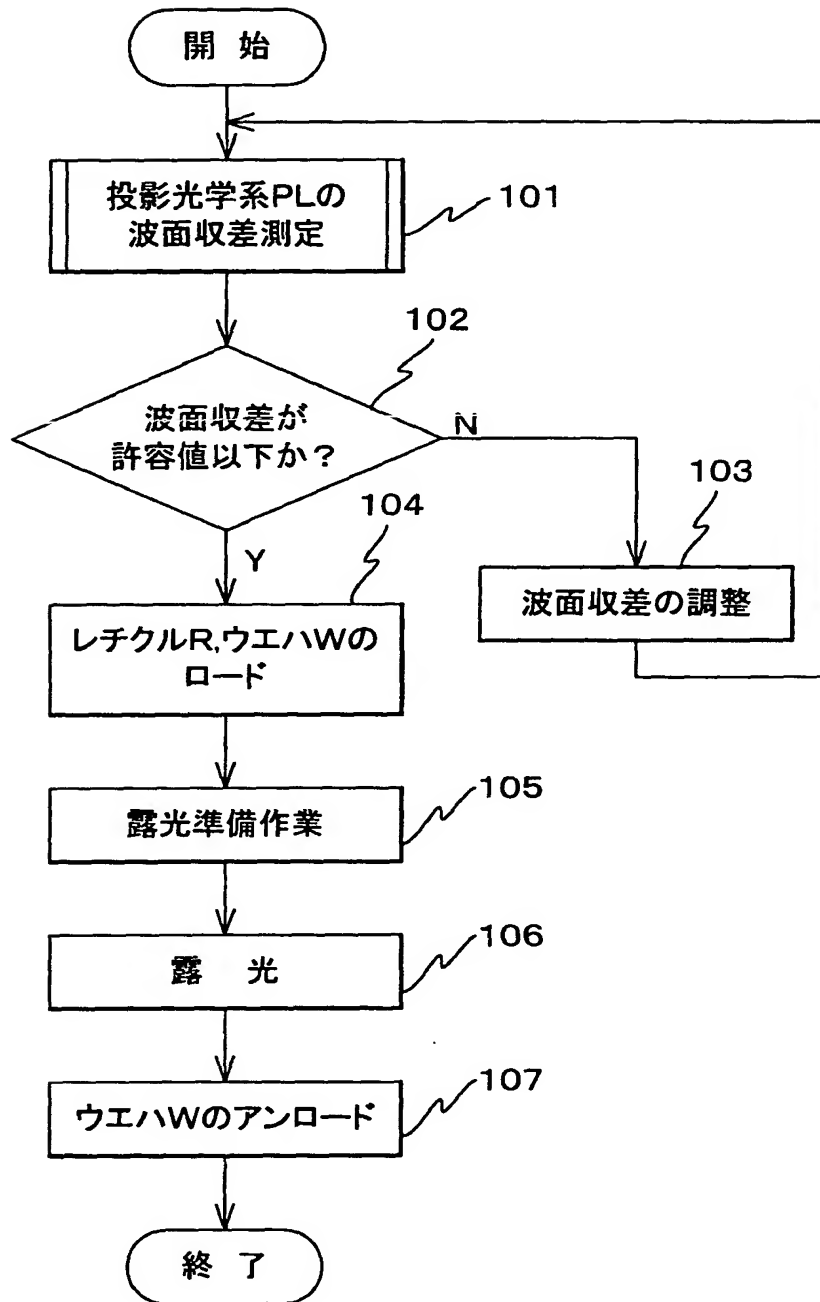
【図 5】



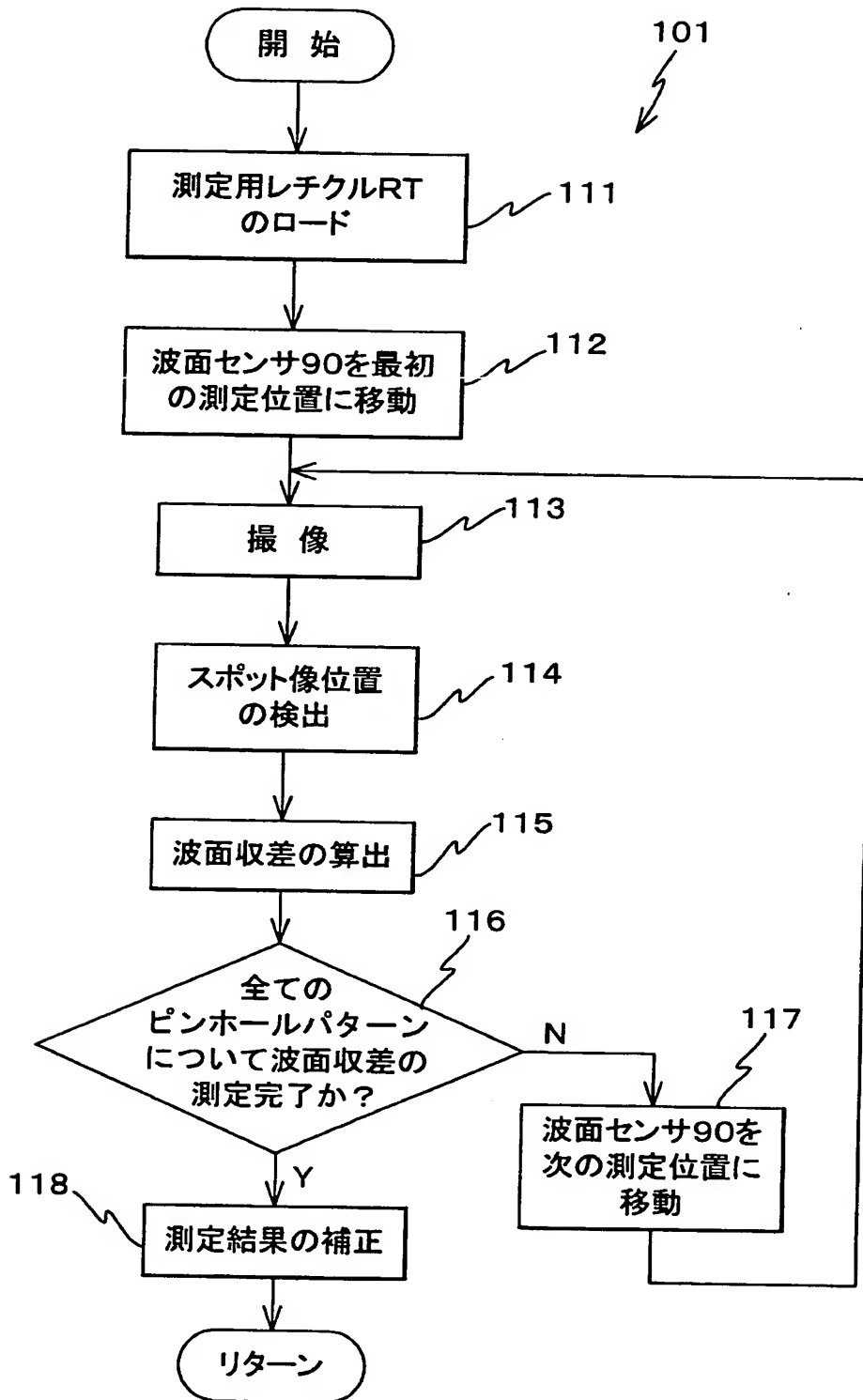
【図 6】



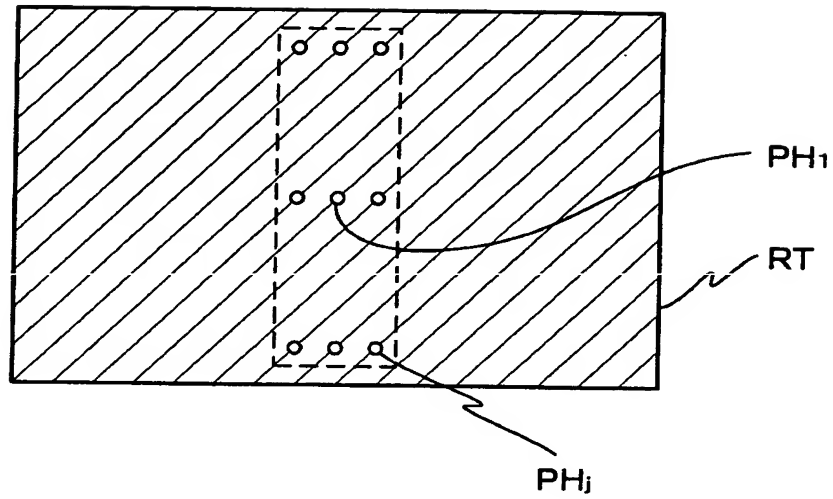
【図 7】



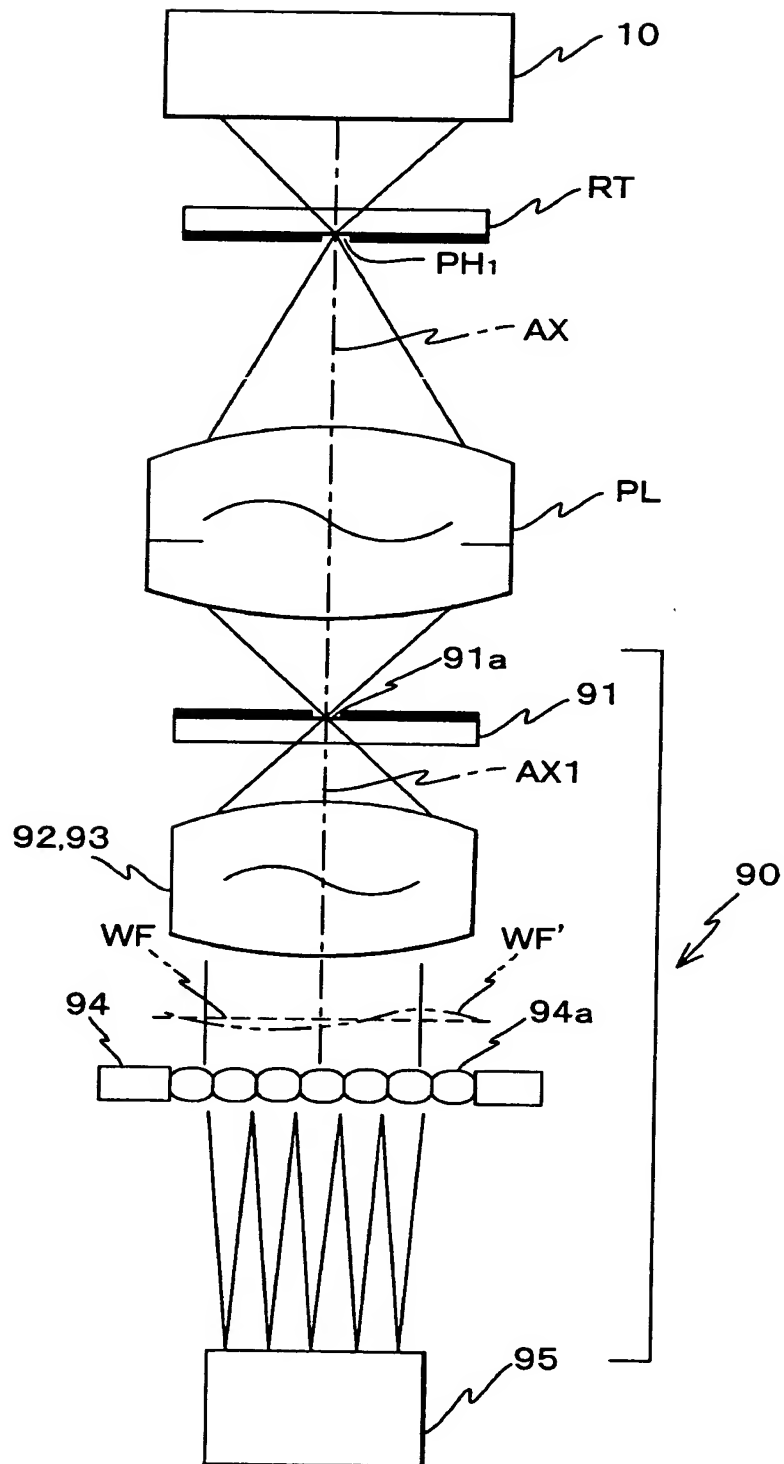
【図 8】



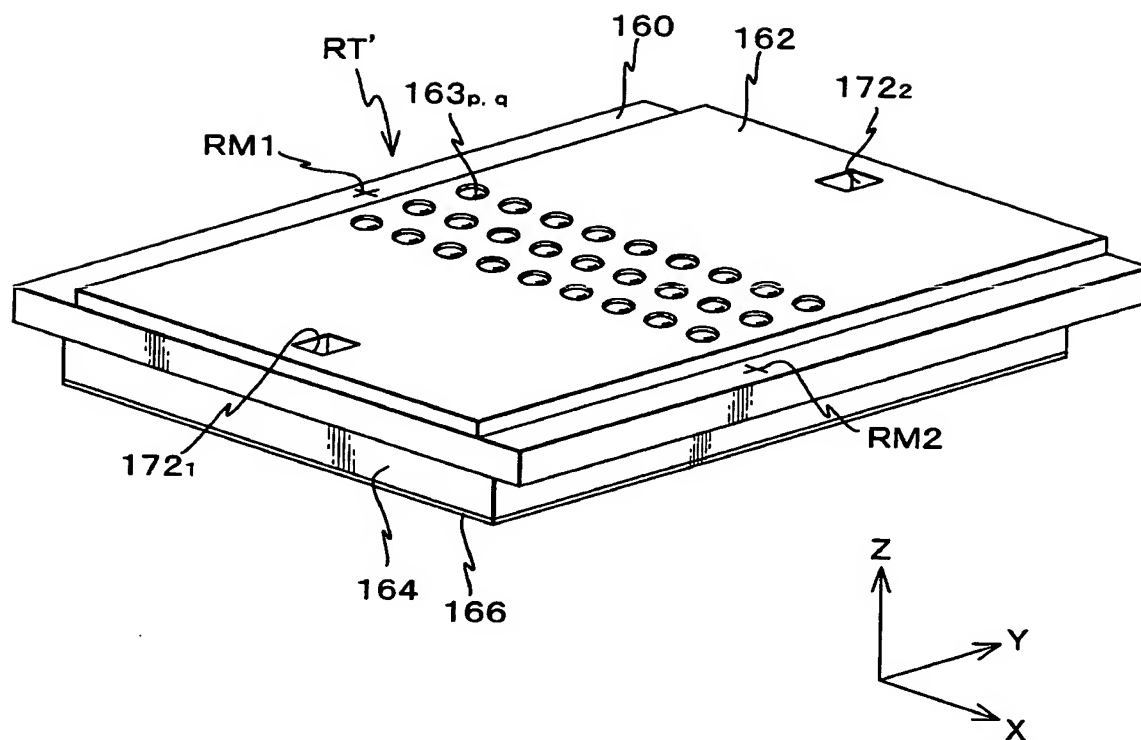
【図 9】



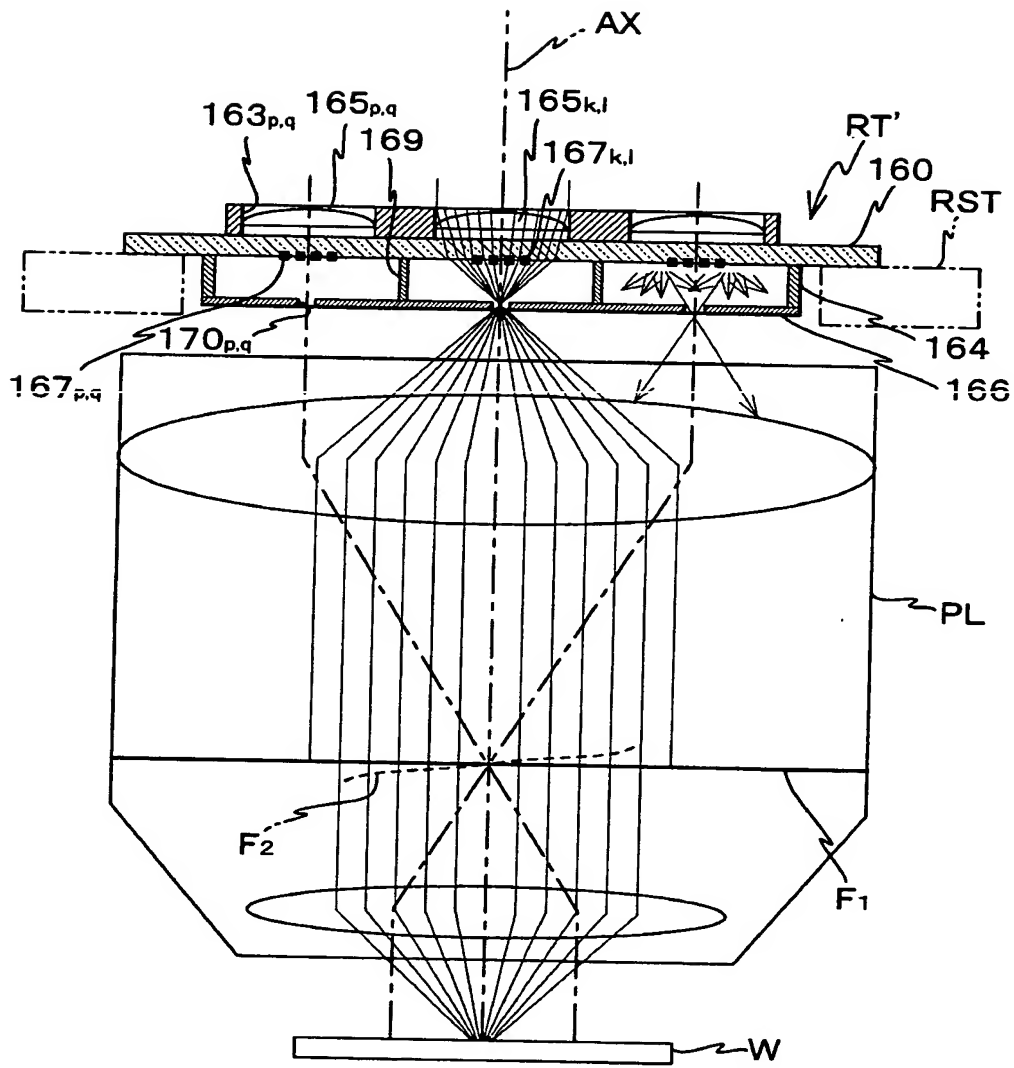
【図10】



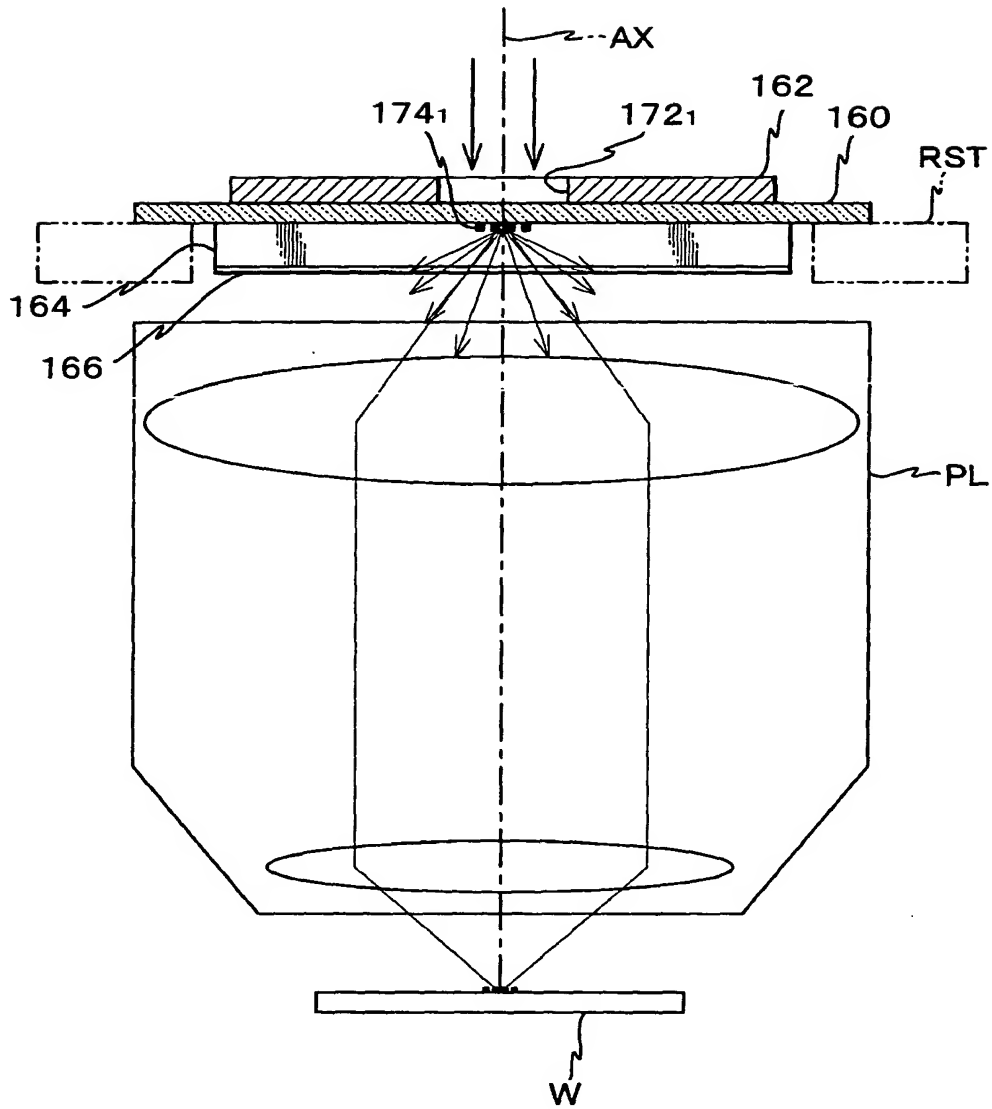
【図 1 1】



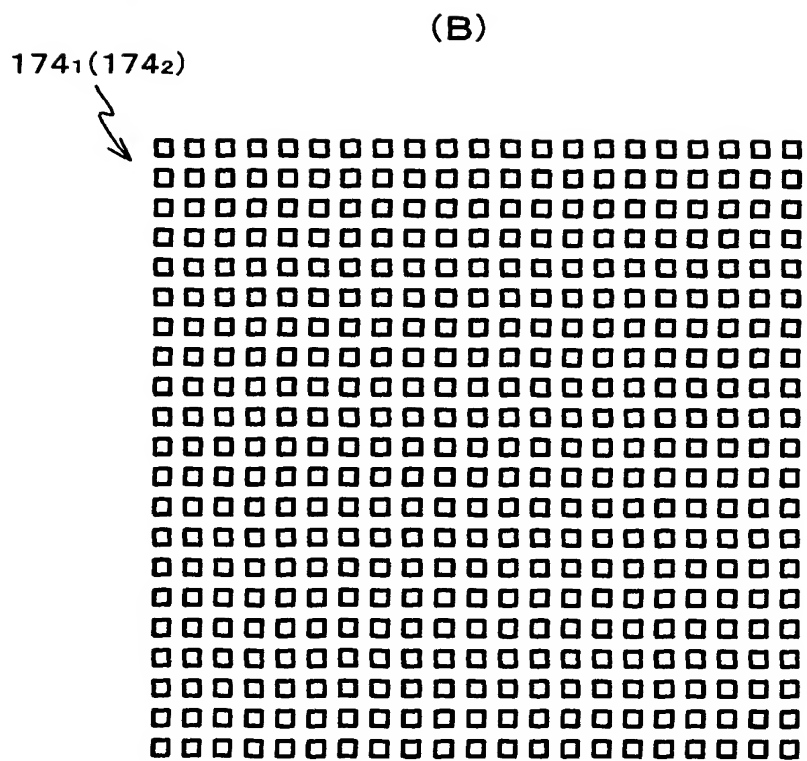
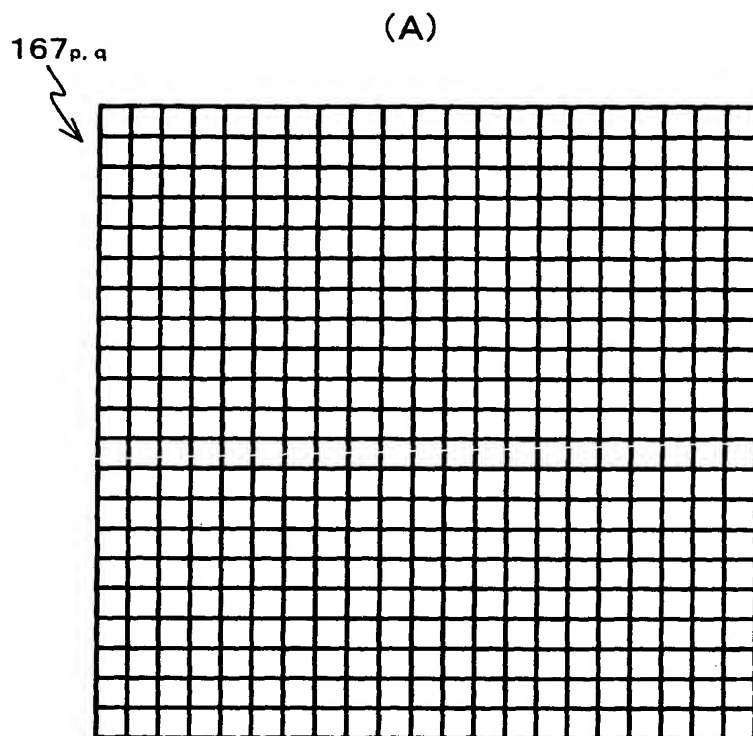
【図 12】



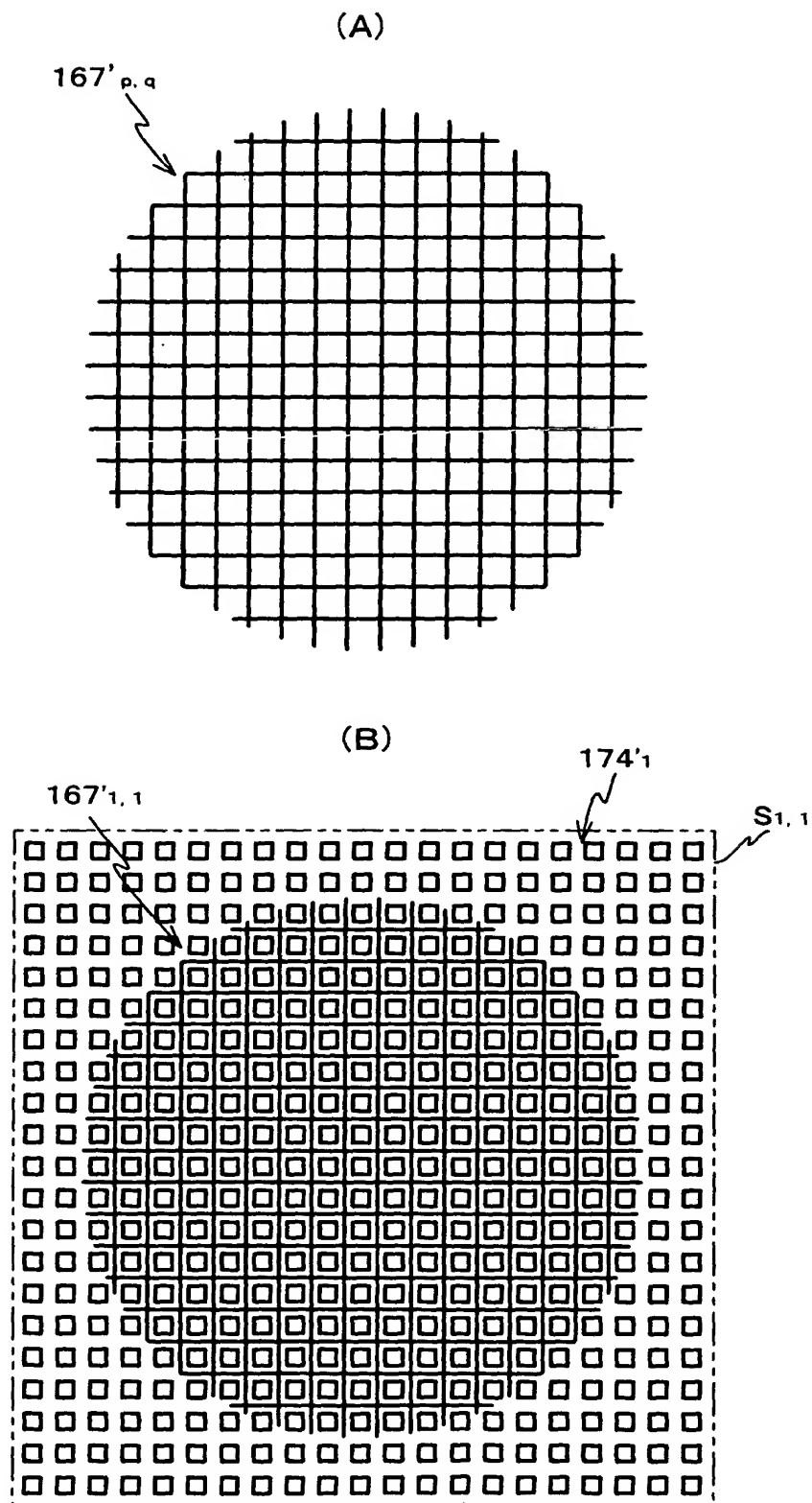
【図13】



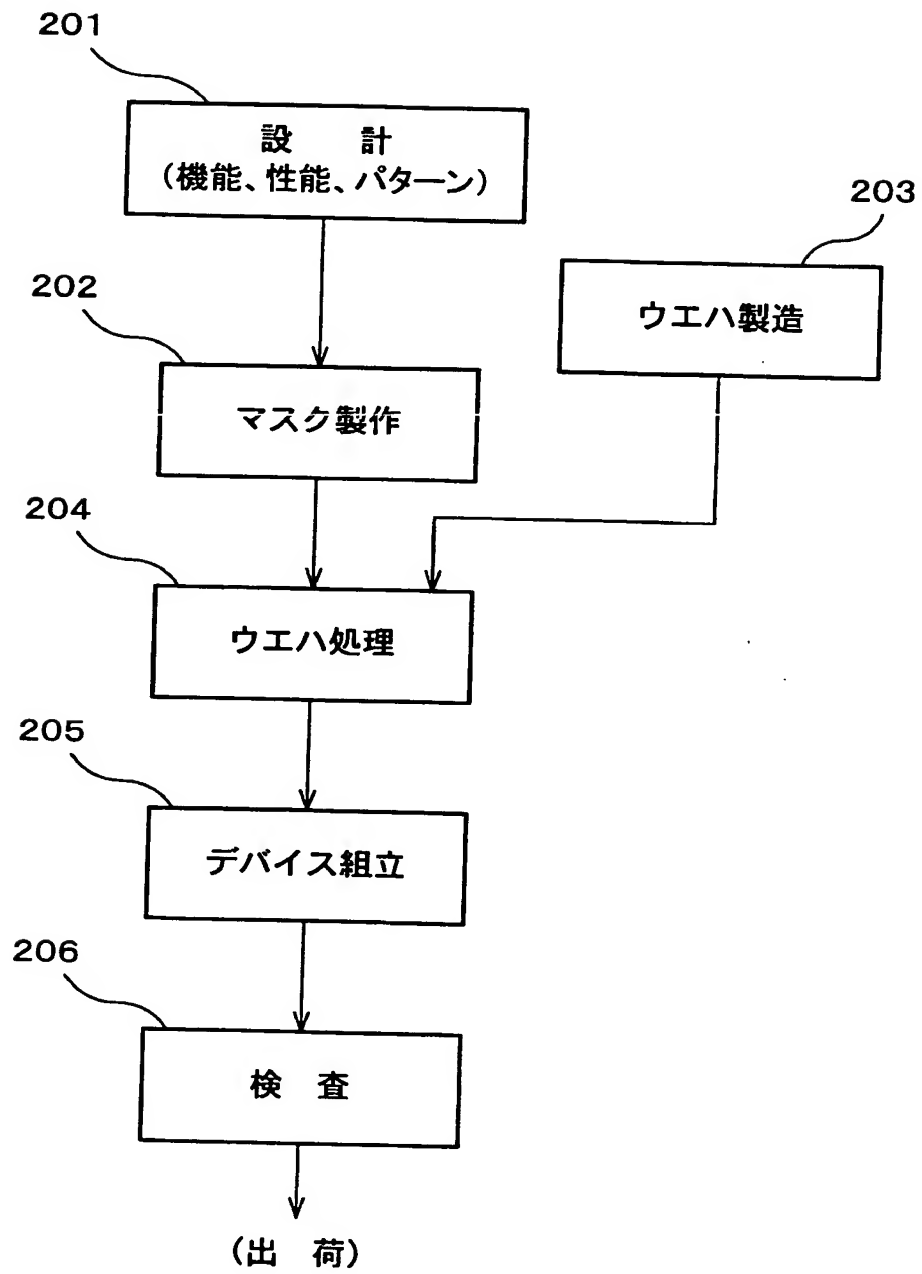
【図 1 4】



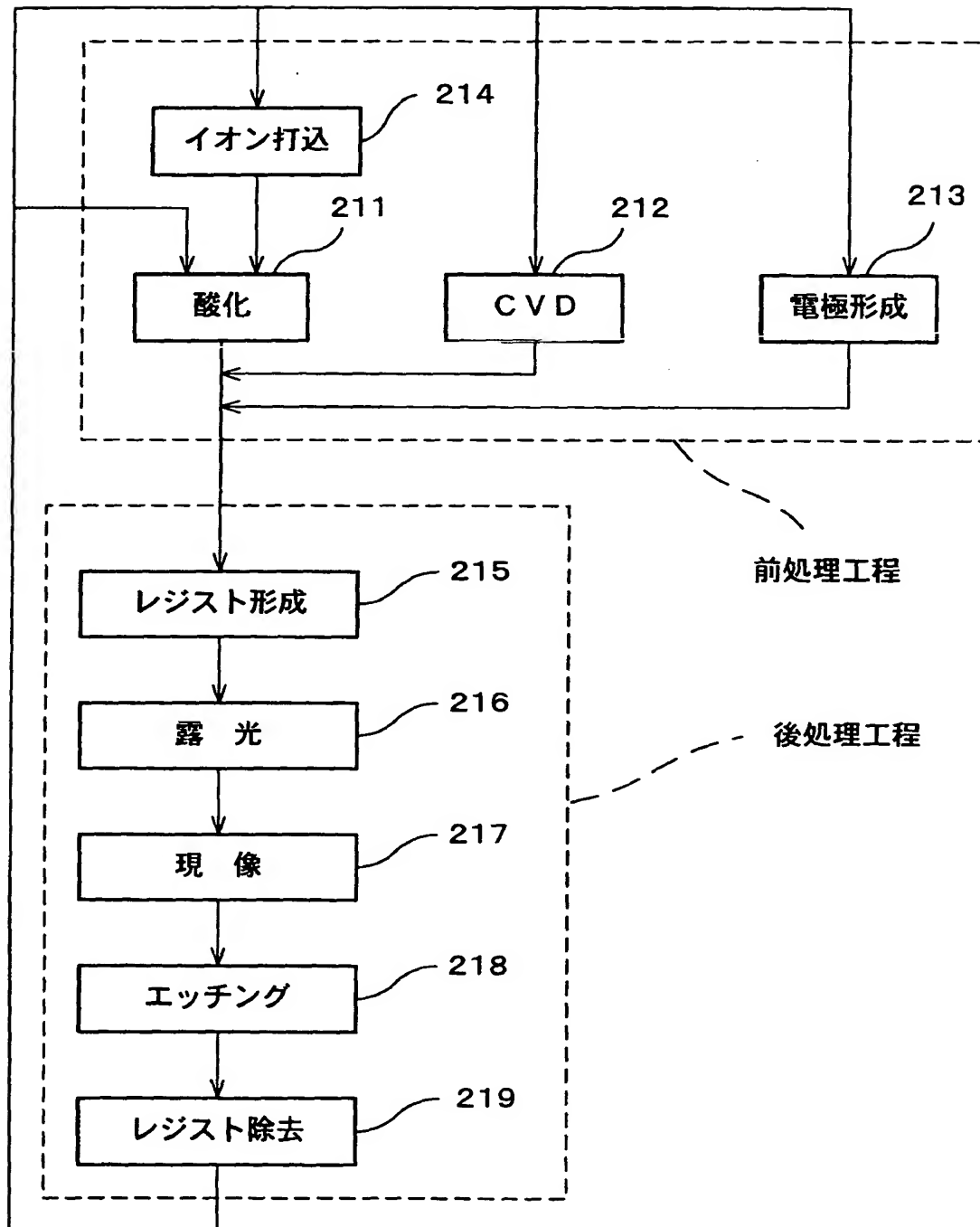
【図 1 5】



【図 1 6】



【図17】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 被検光学系の波面収差を精度良く求める。

【解決手段】 ステップ 1 1 1 ～ 1 1 7 において、被検光学系 P L の波面収差を測定系 7 0 を使用して測定する。そして、ステップ 1 1 8 において、事前に精度良く測定された第 1 の次数の組に属する次数に関する収差成分及び測定系 7 0 のモデルに基づいて算出しておいた第 2 の次数の組に属する次数に関する収差成分の測定結果に対する補正情報を用いて、第 2 の次数の組に属する次数に関する収差成分の測定結果を補正する。この結果、第 2 の次数の組に属する次数に関する収差成分を精度良く求めることができる。

【選択図】 図 8

特 2 0 0 1 - 0 4 7 6 9 3

## 認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2 0 0 1 - 0 4 7 6 9 3
受付番号	5 0 1 0 0 2 5 2 8 7 0
書類名	特許願
担当官	第一担当上席 0 0 9 0
作成日	平成 1 3 年 2 月 2 6 日

### <認定情報・付加情報>

【提出日】 平成13年 2月23日

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000004112]

1. 変更年月日 1990年 8月29日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号  
氏 名 株式会社ニコン



Creation date: 25-07-2003  
Indexing Officer: SLUENG - SAU-CUNE LUENG  
Team: OIPEBackFileIndexing  
Dossier: 10080537

Legal Date: 29-04-2002

No.	Doccode	Number of pages
1	LET.	3
2	OATH	3
3	IDS	2
4	FOR	26
5	NPL	5
6	NPL	7

Total number of pages: 46

Remarks:

Order of re-scan issued on .....